

Der Wert der Magnetresonanzzarthrographie und Computerarthrographie bei Erkrankungen des Schultergelenkes:

eine pathoanatomische Präparatestudie und klinische Studie

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Jörg Otto Schwab
aus Heilbronn / Neckar

Gießen 2000

Aus dem Medizinischen Zentrum für Radiologie
Abteilung Diagnostische Radiologie
Leiter: Prof. Dr. W. S. Rau
des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: PD Dr. G. Bachmann

Gutachter: Prof. Dr. H. Stürz

Tag der Disputation: 30. August 2000

Inhaltsverzeichnis

Teil1: Einführung und Fragestellung	S. 4
Teil2: Grundlagen:	
2.1. Anatomie des Schultergelenkes	S. 8
2.2 Erkrankungen des Schultergelenkes	S. 10
2.2.1 Schulterluxationen	S. 10
2.2.2 Ruptur und Degeneration der Rotatorenmanschette	S. 11
2.2.4 Degenerationen des vorderen Kapselapparates	S. 12
2.3 Klinik und Symptomatologie von Schultergelenkserkrankungen	S. 13
2.4 Diagnostisches Regime und Vorgehensweise	S. 15
2.4.1 Sonographie	S. 15
2.4.2 Konventionelle Röntgenuntersuchung	S. 16
2.4.3 Computerarthrotomographie (Arthro-CT)	S. 16
2.4.3.1 Technik der CT	S. 16
2.4.3.2 Indikationen zur Arthro-CT	S. 18
2.4.3.3 CT-Anatomie und Pathologie	S. 18
2.4.4 Die Magnetresonanztomographie MRT	S. 20
2.4.4.1 Prinzip	S. 20
2.4.4.2 Sequenzen und Kontrastmittel	S. 21
2.4.4.3 MR-Anatomie und Pathologie	S. 23
2.5 Therapieansätze	S. 25
Teil3: Patienten und Methoden	
<i>Teil A: Experimentelle Studie an 32 Schultergelenkpräparaten</i>	S. 26
3.1 Gelenkpräparate	S. 26
3.1.1 Präparation der Schultergelenke	S. 26
3.1.2 Sequenzprotokoll	S. 27
3.1.3 Arthroskopische Untersuchung	S. 28
3.1.4 Makro- und mikroskopische Verarbeitung	S. 28
3.2 Analyse der MR-Bilder	S. 29
3.3 Statistische Auswertung	S. 31
<i>Teil B: Klinische Studie mit Vergleich von CT- und MR - Arthrographie der Schulter</i>	
3.4 Erhebung der Daten an dem klinischen Patientenkollektiv	S. 32
3.4.1 Durchführung von konventioneller, CT- und MR-Arthrographie	S. 32
3.4.2 Arthroskopie und Arthrotomie	S. 33
3.4.3 Analyse der klinischen Daten	S. 33

Teil4: Ergebnisse

Teil A: Ergebnisse der Präparatestudie	S. 35
4.1 Morphologische Befunde an Gelenkpräparaten in verschiedenen Sequenzen	S. 35
4.1.1 Die Rotatorenmanschette	S. 35
4.1.2 Der vordere Kapselapparat	S. 36
4.1.3 Weitere Gelenkstrukturen	S. 39
4.2 Vergleich zwischen nativen MR-Sequenzen und der MR-Arthrographie anhand von Wertescores: Darstellung normaler anatomischer Strukturen	S. 47
4.2.1 Abgrenzung des Gelenkbinnenraumes	S. 47
4.2.2 Darstellung des Labrum glenoidale anterius mit verschiedenen Techniken	S. 48
4.2.3 Darstellung des hinteren Labrum glenoidale mit verschiedenen Techniken	S. 48
4.2.4 Abgrenzung der Knorpelkontur	S. 49
4.2.5 Kontrast zwischen Knorpel und Knochen in verschiedenen Sequenzen	S. 50
4.2.6 Kontrast zwischen Knorpel und Gelenkflüssigkeit in verschiedenen Sequenzen	S. 51
4.2.7 Abgrenzung des ventralen Kapselansatzes mit unterschiedlichen Sequenzen	S. 51
4.2.8 Abgrenzung des hinteren Kapselansatzes in verschiedenen Sequenzen	S. 52
4.2.9 Kontrastierung des subakromialen Fettsaumes in unterschiedlichen Techniken	S. 53
4.2.10 Abgrenzung der Sehnen der Rotatorenmanschette mit verschiedenen Sequenzen	S. 54
4.2.11 Darstellung der Sehne des M. biceps brachii mit unterschiedlichen Techniken	S. 56
4.2.12 Darstellung der einzelnen Strukturelemente des vorderen Kapselapparates in verschiedenen Sequenzen	S. 57
4.3 Darstellung von Gelenkpathologien in MRT, Arthroskopie und Histologie	S. 58
4.3.1 Darstellung von Knorpelläsionen mit verschiedenen Sequenzen	S. 60
4.3.2 Darstellung von Labrumrissen mit unterschiedlichen Sequenzen	S. 61
4.3.3 Diagnostik von Hill-Sachs-Defekten mit verschiedenen Sequenzen	S. 62
4.3.4 Diagnostik des Impingement-Syndromes mit verschiedenen Techniken	S. 62
4.3.5 Abgrenzung von Flüssigkeit in der Bursa subacromialis mit unterschiedlichen Sequenzen	S. 63
4.3.6 Darstellung der Degeneration der Supraspinatussehne mit unterschiedlichen Techniken	S. 64
4.3.7 Abgrenzung von partiellen Defekten der Supraspinatussehne mit unterschiedlichen Sequenzen	S. 65
4.3.8 Abgrenzung von kompletten Rupturen der Supraspinatussehne mit unterschiedlichen Techniken	S. 66

4.3.9 Darstellung der übrigen Pathologien mit verschiedenen Techniken	S. 66
4.3.10 Arthroskopische Diagnosen	S. 67
4.4 Vergleich von MRT mit Arthroskopie und Histologie	S. 68
4.4.1 Diagnostische Genauigkeit der nativen MR-Sequenzen im Vergleich zur Arthroskopie als Referenzmethode	S. 68
4.4.2 Diagnostische Genauigkeit der MR-Arthrographie im Vergleich zur Arthroskopie	S. 70
4.4.3 Diagnostische Genauigkeit der nativen MR-Sequenzen im Vergleich zu den histopathologischen Befunden als Referenz	S. 71
4.4.4 Diagnostische Genauigkeit der MR-Arthrographie im Vergleich zu histopathologischen Befunden als Referenz	S. 72
4.4.5 Zusammenhang zwischen Arthroskopie und Histologie bei Läsionen der Sehne des M. supraspinatus	S. 74

Teil B: Ergebnisse der klinischen Studie

4.5.1 Ergebnisse der klinischen Untersuchung	S. 75
4.5.2 Vergleich der Befunde in der klinischen Untersuchung, der CT- und MR-Arthrographie und der Arthroskopie	S. 75
4.5.3 Morphologische Befunde in der CT- und MR-Arthrographie des Schultergelenkes	S. 76
4.5.4 Bewertung der anatomischen Strukturen in der CT-Arthrographie und der MR-Arthrographie anhand eines Werteskores	S. 81
4.5.5 Zusammenhang zwischen Kapselansatztyp und klinischer Verdachtsdiagnose	S. 84
4.5.6 Operative Befunde in Arthroskopie und Arthrotomie	S. 84
4.5.7 Diagnostische Genauigkeit von CT- und MR-Arthrographie in der Diagnose von Rissen im anterioren Labrum	S. 86
4.5.8 Diagnostische Genauigkeit von CT- und MR-Arthrographie in der Diagnose von Rupturen der Rotatorenmanschette	S. 87
4.5.9 Verträglichkeit der kombinierten CT- und MR-Arthrographie	S. 88

Teil 5: Diskussion	S. 89
---------------------------	-------

Teil 6: Zusammenfassung	S. 102
--------------------------------	--------

Teil 7: Literatur	S. 105
--------------------------	--------

1 Einführung und Fragestellung:

Das Schultergelenk ist ein großes, sehr bewegliches Gelenk mit ausschließlich ligamentärer Führung. Im Rahmen sportlicher Betätigung, wie auch nach Unfällen im Haushalt oder Verkehr neigt es zur Luxation, wobei eine Vielzahl von Läsionen am Kapselapparat (Labrumrisse, Pfannenrandfrakturen, Kapselablösungen, Rupturen der glenohumeralen Bänder), an der Rotatorenmanschette (Rupturen) und am Humeruskopf (Hill-Sachs-Läsion) auftreten können. Eine typische Folge der Luxation ist die Schulterinstabilität, deren Schweregrad von der Luxationshäufigkeit und vom Verletzungsmuster abhängen.

Für den optimalen Einsatz der verschiedenen, heute zur Verfügung stehenden konservativen oder operativen Therapieformen muß die Ausdehnung der Verletzungen im Gelenk möglichst exakt bestimmbar sein. Entsprechend hoch sind die Anforderungen an bildgebende diagnostische Methoden. Nicht nur eine hohe Sensitivität und Spezifität im Nachweis bzw. Ausschluß einer Gelenkläsion sind wichtig, sondern auch generelle Verfügbarkeit, geringe Invasivität und geringe Kosten spielen eine Rolle. Die konventionelle Röntgenuntersuchung ist in der Regel die erste diagnostische Methode. Sie informiert aber nur über knöcherne Verletzungen; Veränderungen an den ligamentären Strukturen des Kapsel-Bandapparates sind damit nicht zu erkennen. Unter den digitalen Schnittbildverfahren wird die Sonographie in der Schultergelenkdiagnostik oft eingesetzt, da sie allgemein verfügbar ist und kostengünstig ist. Sie wird häufig zum Nachweis von Rupturen der Rotatorenmanschette eingesetzt, findet aber ihre Limitationen in der schwierigen Darstellung von Binnenläsionen. Das vordere Labrum und die Gelenkkapsel, die bei Luxationen besonders häufig betroffen sind, werden nur unvollständig erfaßt (Hodler et al. 1991).

In den letzten zwei Jahrzehnten haben sich die CT und MRT als digitale Schnittbildverfahren in der Schulterdiagnostik etabliert. Die CT liefert axiale Schnittbilder in hoher Auflösung und stellt knöcherne Defekte (Pfannenrandfrakturen und Hill-Sachs-Defekte) überlagerungsfrei dar (Deutsch et al. 1984, Wilson et al. 1989). Die MRT kann Schnittbilder in beliebiger Orientierung berechnen, so daß die Schnittebene den anatomischen Strukturen optimal angepaßt werden kann. Zudem ist der Weichteilkontrast generell besser als in der CT. Dadurch können fast alle gelenkbildenden Strukturen der Schulter nacheinander untersucht und in hoher Auflösung abgebildet werden (Zlatkin et al. 1991). Ein Nachteil der MRT liegt in großen Variabilität der Einstellparameter. Viele Sequenzen mit unterschiedlichen

Repetitions-, Echozeiten und Anregungswinkel sind zur Untersuchung der Schulter bisher veröffentlicht worden, die jeweils besondere Vor- und Nachteile haben. Als Standardtechnik hat sich die Spinechosequenz in T_1 -, Protonen- und T_2 -Wichtungen bei der Mehrzahl der Untersucher (Vahlensieck 1992) durchgesetzt. Daneben sind Gradientenechosequenzen in 2D- und 3D-Technik, STIR-Sequenzen, Techniken zur Unterdrückung des Fettsignals (Fettsuppression) und Sequenzen zur Darstellung kolloidaler Gewebe (Magnetisierungstransferkontrast) eingesetzt worden. Für die MRT sind die typischen morphologischen Veränderungen an der Rotatorenmanschette, dem Labrum, dem Gelenkansatz und weiteren Bändern nach Luxation eingehend beschrieben worden (Kneeland et al. 1987, Evancho et al. 1988, Seeger et al. 1988, Zlatkin et al. 1989, Burk et al. 1989, Rafii 1990, Leagan et al. 1991, Garneau et al. 1991, Farley et al. 1992).

Ein besonderes diagnostisches Problem am Schultergelenk ergibt sich durch die große Variabilität der beteiligten Gelenkstrukturen in der MRT, so daß eine Differenzierung zwischen Variante und Gelenkläsion schwierig sein kann. So sind an gesunden Probanden Signalveränderungen im Sehngewebe der Rotatorenmanschette gefunden worden (Vahlensieck et al. 1992). Am Labrum können Formvarianten und segmentale Defekte auftreten, ohne daß je ein Trauma oder eine Symptomatik bestanden hat (Neumann et al. 1991, Liou et al. 1993). Der Ansatz der Gelenkkapsel am vorderen Labrum kann so weit zum Skapulahals verschoben sein, daß eine Luxationstasche simuliert werden kann (Neumann et al. 1991).

Ein weiteres diagnostisches Problem resultiert aus der engen anatomischen Beziehung von hyalinem Knorpel, Labrum, Gelenkkapsel und periartikulären Bändern. Vor allem bei Fehlen eines Gelenkergußes legt sich die Gelenkkapsel soweit an das Labrum, daß in der MRT und auch in der CT Labrum, Kapsel und periartikuläre Bänder nicht mehr voneinander zu unterscheiden sind. Risse können dann nicht mehr erkannt werden. Eine Lösung dieses Problems gelingt durch Injektion von ca. 20ml Kontrastmittel in das Gelenkkavum. Durch die zusätzliche Flüssigkeit im Gelenk wird die Gelenkkapsel mit den umgebenden Bändern vom Labrum und dem Gelenknorpel abgedrängt. Zudem wird der Binnenkontrast erhöht, so daß die Konturen von Labrum, Knorpel und Gelenkkapsel besser abzugrenzen sind. Die arthrographischen Techniken sind in Verbindung mit der CT (CT-Arthrographie) und der MRT (MR-Arthrographie) in der diagnostischen Abklärung von Schulterluxationen bereits erfolgreich eingesetzt worden (Singson et al. 1987, Flannigan et al. 1990, Kreitner et al. 1991,

1992 + 1993, Hodler et al. 1992, Chadnani et al. 1993, Wilson et al. 1994, Kramer et al. 1994, Kreitner et al. 1994). Es konnte gezeigt werden, daß sich die Nachweisraten für zahlreiche Gelenkläsionen gegenüber den nativen CT- und MR-Techniken deutlich verbessern lassen. Eine Überlegenheit von CT- oder MR-Arthrographie ist aber bis heute nicht erwiesen.

Aus den genannten Problemen in der Diagnostik von Läsionen des Schultergelenks mit CT und MRT ergeben sich die Fragestellungen für die vorliegende Dissertation, die in einer pathoanatomischen Studie an Schultergelenkpräparaten und in einem direkten klinischen Vergleich zwischen CT- und MR-Arthrographie bearbeitet wurden.

32 isolierte Gelenkpräparate wurden nacheinander mit zehn verschiedenen MRT-Sequenzen untersucht. Die letzten drei Sequenzen waren hierbei die MR-Arthrographie. Die Einstellungen der Sequenzen folgten dabei Empfehlungen aus der Literatur und sind auch am lebenden Patienten üblich. Die MRT-Befunde wurden durch Arthroskopie und histopathologische Untersuchung der Gelenke überprüft. Die relativ große Zahl an Gelenkpräparaten wurde gewählt, um natürlich entstandene Läsionen untersuchen zu können und nicht auf artifiziell gesetzte Defekte zurückgreifen zu müssen. Für jede Sequenz wurden diagnostische Kriterien wie Kontrast und Detaildarstellung von einzelne Gelenkstrukturen überprüft und Nachweisraten für Gelenkläsionen bestimmt. Eine weitere Fragestellung betraf die Häufigkeit von Normalbefunden, Varianten und Läsionen an der Rotatorenmanschette, dem Labrum und der Gelenkkapsel, sowie deren Darstellung in den einzelnen Sequenzen. Ziel war eine Sequenzempfehlung für die Untersuchung des Schultergelenks in der MRT.

An 38 Patienten mit Schulterinstabilitäten wurde die CT-Arthrographie und die MR-Arthrographie nacheinander am selben Patienten eingesetzt. Um die Patienten möglichst schonend zu untersuchen, wurde das betroffene Gelenk nur einmal punktiert und die Kontrastmittel für CT wie MRT zusammen eingebracht. Für Läsionen am Labrum und der Rotatorenmanschette wurde jeweils die Sensitivität und Spezifität von beiden Methoden ermittelt. Zu prüfen war auch, ob eine Kombination beider Methoden einen diagnostischen Gewinn bringt. Alle Befunde wurden durch Arthroskopie oder Arthrotomie verifiziert. Ob arthroskopische oder offene Techniken in der chirurgischen Therapie von Schulterinstabilitäten eingesetzt werden, hängt von der Luxationsfrequenz, der Direktionalität der Instabilität und von zahlreichen morphologischen Befunden am geschädigten Kapselapparat ab. Daher wurde auch untersucht, wie zuverlässig die morphologischen

Veränderungen am Schultergelenk zu erfassen sind, um anzugeben, wie zuverlässig beide Methoden in der Therapieplanung den operativen Zugang bzw. den chirurgischen Eingriff vorhersagen können.

2 Grundlagen

2.1 Anatomie des Schultergelenkes

Das Schultergelenk ist ein Kugelgelenk mit sehr großer Bewegungsfreiheit. Die Gelenkkapsel ist schlaff und der Humeruskopf für die relativ kleine und flache Gelenkpfanne des Schulterblattes, die Cavitas glenoidalis scapulae, vergleichsweise groß. Dadurch wird das Schultergelenk nicht ossär, sondern ausschließlich durch den Kapsel-Bandapparat und die Schultermuskulatur stabilisiert und geführt (Obrist 1991).

Das Tuberculum majus ist der Insertionspunkt für mehrere Muskeln der Rotatorenmanschette, die eine Sehnenplatte von ca. 3,5 x 1,5 cm ist, in die die Sehnen von vier Muskeln einstrahlen: der M. supraspinatus, welcher in der Fossa supraspinata der Scapulae liegt und an der ventrokranialen Facette des Tuberculum majus inseriert, der M. infraspinatus, welcher in der Fossa infraspinata entspringt und an der posterokranialen Facette, der M. teres minor, der an der Margo lateralis der Scapula entspringt und zum hinteren Anteil des Tuberculum majus zieht und schließlich der M. subscapularis, der von der Fossa subscapularis scapulae entspringt und mit seiner kräftigen Endsehne unterhalb des Processus coracoideus entlang ziehend den ventralen Anteil der Rotatorenmanschette bildet.

Von besonderer klinischer Bedeutung ist auch die Sehne des Caput longum des M. biceps brachii. Sie verläuft im Sulcus intertubercularis humeri, der durch die Crista tuberculi majoris und minoris gebildet wird, und im Bereich der beiden Tubercula von einer Sehnenscheide, der Vagina tendinis intertubercularis, umgeben wird. Von hier aus beschreibt die Sehne einen Bogen nach medial, dringt durch die Gelenkkapsel in das Schultergelenk ein und inseriert schließlich am Tuberculum supraglenoidale scapulae und am ventralen Anteil des Labrum glenoidale superius.

Die Gelenkfläche der Scapula, die Facies glenoidalis ist von einem hyalinem Knorpel bedeckt. Am Rand verläuft zirkulär das Labrum glenoidale, welches aus Faserknorpel besteht und die Gelenkpfanne vergrößert. Der vordere Anteil des Labrum ist stärker ausgeprägt als der hintere (DePalma 1983, Rothman 1975, Turkel 1981).

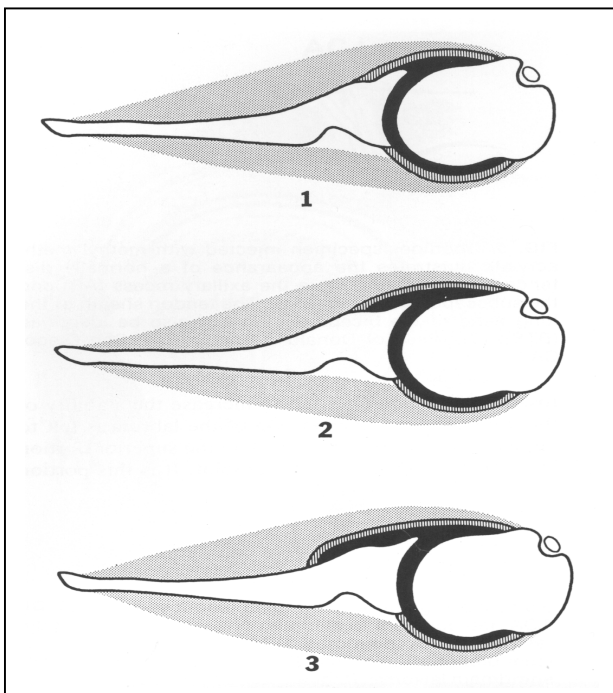
Die Gelenkkapsel des Schultergelenkes ist in Normalstellung, das heißt bei Herabhängen des Oberarmes, relativ schlaff und bildet einen Gelenkrecessus, den Recessus axillaris. Dieser Recessus wird bei Abduktion und Elevation des Oberarmes gespannt. Die Kapsel selbst setzt oben am Labrum superius, nahe der Bizepsinsertion, an. Der hintere Anteil entspringt direkt vom Labrum posterius und vom dortigen Knochen.

Zwischen dem Schulterdach und den Muskeln der Rotatorenmanschette liegen zwei Schleimbeutel, die Bursae subacromialis und subdeltoidea, die in den meisten Fällen miteinander kommunizieren.

Die stabile Führung des Schultergelenkes wird durch verschiedene Kapselstrukturen gewährleistet, die funktionell unter dem Begriff „capsular mechanism“ zusammengefaßt werden. (Balvanyossy 1990, Cyprien 1978, Deutsch 1984, Gerber 1986, Habermeyer 1990, Kreitner 1990, Moseley 1962, Neer 1980, Rafii 1986, Rowe 1978, Turkel 1981, Townley 1950, Zlatkin 1988).

Nach vorne unten wird das Schultergelenk durch das Labrum glenoidale anterius, der fibrösen Gelenkkapsel, den Ligg. glenohumeralia und der Sehne des Musculus subscapularis (SCT) gehalten, die im vorderen Kapselapparat zusammengefaßt sind und den Humeruskopf vor ventrokaudaler Luxation schützen. Der hintere Kapselapparat besteht aus der hinteren Gelenkkapsel, dem Labrum glenoidale posterius, der Gelenkmembran und dem hinteren oberen Anteil der Rotatorenmanschette. Er verhindert die dorsale Luxation des Humeruskopfes. Oberhalb des Schultergelenkes befindet sich das Schulterdach, das vom Acromion, dem Processus coracoideus vom Ligamentum coracoacromiale gebildet wird, das vom Rabenschnabelfortsatzes zum Acromion zieht.

Der ventrokaudale Ansatz der Gelenkkapsel an der Scapula ist variabel, wobei nach Moseley et al. (1962) drei Typen unterschieden werden:



Der ventrale Kapselansatz:

Beim Typ 1 inseriert die ventrale Gelenkkapsel direkt am Faserknorpelring des Labrums. Beim Typ 2 liegt die Insertion direkt medial des Labrums und beim Typ 3 inseriert die Gelenkkapsel auf dem Scapulahals.

Die Ligamenta glenohumeralia stellen eine Verstärkung der von lateral nach medial verlaufenden Kapselzüge dar, wobei ein oberes, mittleres und unteres Band unterschieden wird. Die glenohumeralen Bänder sind sehr variabel ausgebildet, wobei einzelne Bänder in ca. 15-20% sogar gänzlich fehlen (Moseley 1962, Rafii 1986). Ist das Lig. glenohumerale medium schwach ausgebildet oder fehlt es, entsteht nach ventral hin eine kleine Ausstülpung der Gelenkkapsel, die als Bursa subtendinea musculi subscapularis oder Bursa subscapularis bezeichnet wird (Moseley 1962, Protzmann 1980, Rothman 1975, Turkel 1981, Warwick 1973). Es besteht eine nicht sehr strenge Beziehung zwischen Kapselansatztyp und Ausbildung der glenohumeralen Bänder. Beim Typ II und III ist das mittlere oder untere glenohumerale Band häufig unterentwickelt oder fehlt, was mit einem erhöhten Risiko einer ventralen Luxation verbunden ist (DePalma 1983, Rothman 1975, Turkel 1981).

2.2 Erkrankungen des Schultergelenkes

Die wichtigsten degenerativen und traumatischen Erkrankungen des Schultergelenkes betreffen den Kapsel-Labrumkomplex im Rahmen von Luxationen sowie die Rotatorenmanschette, die durch Entzündung, Degeneration oder Ruptur geschädigt werden kann. Relativ selten sind Abrißfrakturen am Humeruskopf und an der Skapula.

2.2.1 Schulterluxationen

Die habituelle Schulterluxation kann schon bei geringen axialen Kräften am Humerus oder Verrenkungen auftreten. Die Ursachen liegen in verschiedenen konstitutionellen und strukturellen Veränderungen des Humeroskapulargelenkes. Hierzu zählen eine zu kleine oder zu flache Gelenkpfanne, eine schlaffe Gelenkkapsel, elongierte Ligamente, eine verminderte Retroversion des Humerus (Zilch 1989) oder Innervationsveränderungen der Muskulatur.

Die posttraumatischen Schulterluxationen treten im Rahmen sportlicher Aktivitäten bei forcierter Abduktion und Außenrotation im Schultergelenk auf, wie sie z.B. bei Wurfdisziplinen häufig sind. Begünstigend wirken die Kapselinsertionstypen II und III nach Moseley (1962) und Rothman (1975). Die häufigste Luxation ist die vordere Luxation in ungefähr 80 bis 90% (Resch 1989, Weissman 1986), bei der der Humeruskopf unterhalb des Processus coracoideus zu liegen kommt (Luxatio subcoracoidea). Bei der inferioren Luxation (circa 10%) liegt der Humeruskopf axillär und bei der posterioren Luxation (circa 5%) dorsal der Scapula.

Die Luxation des Humerus kann häufig zu Schäden am Humeruskopf, am Glenoid und am Kapsel-Bandapparat führen:

Am dorsokranialen Humeruskopf entsteht häufig eine knöcherne Impressionsfraktur, die auch als Hill-Sachs-Läsion bezeichnet wird. Sie entsteht bei ventralen Schulterluxationen, wenn das ventrale Labrum in den Humeruskopf gedrückt wird (Broca, Deutsch 1984, Hill 1940, Malgaigne 1855, Mc Niesh 1987). Von einer 'reversed' Hill-Sachs-Läsion spricht man, wenn sich bei einer hinteren Luxation die Impression am ventrokranialen Humeruskopf befindet. Am Glenoid der Scapula kann der knöcherne Limbus oder das fibröse Labrum traumatisiert werden, wobei man auch von einer knöchernen Bankart-Läsion bei einer Pfannenrandfraktur oder einer klassischen Bankart-Läsion bei einer Ruptur des fibrösen Labrums spricht (Bankart 1938). Desweiteren können bei Luxationen auch Rupturen der langen Bizepssehne und der oberen Anteile des Labrum auftreten (sogenannte SLAP-lesion = superior labrum anterior to posterior lesion; Andrews 1985, Gross 1990, Pal 1991, Skyhar 1988, Snyder 1990).

2.2.2 Ruptur und Degeneration der Rotatorenmanschette

Bei massiver Zugbeanspruchung wird eine gesunde Sehne normalerweise nicht rupturieren; es kommt entweder zu einem knöchernen Sehnenaustriß oder zu einem Muskelriß. Einer Ruptur der sehnigen Rotatorenmanschette müssen daher prädisponierende Faktoren zugrunde liegen (Cotton 1964, Neviaser 1987, Rathbun 1970, Rothman 1965). Als eine Ursache wird die primäre Degeneration des bradytrophen Gewebes der Supraspinatussehne diskutiert. In Frage kommen auch Traktionsschäden, die entstehen, wenn die Sehne repetitiv zwischen Caput humeri und Akromion eingeklemmt wird und dann sekundär degeneriert (sog. Impingement-Syndrome). Die Folge der Degeneration ist eine Aufquellung der Sehne, eine Änderung der Ausrichtung der Kollagenfaserbündel und eine chondroide Metaplasie des Sehnengewebes (Ersatz der Kollagenfasern durch verstreute Knorpelnester). Die intratendinösen Rezeptoren gehen oft mit zugrunde, die propriozeptive Rückkopplung fehlt dann, so daß die Sehne nicht mehr vor unphysiologisch starken Muskelkontraktionen geschützt wird (Zilch 1989).

Kontinuierlicher Druck auf die Rotatorenmanschette, besonders bei der Abduktion und Elevation des Humerus, kann somit eine chronische Schädigung der Supraspinatussehne hervorrufen. Nach Jobe (1989) soll dem Impingement eine anteriore Instabilität vorausgehen, die auch ohne Traumata in der Anamnese bei einem stabilen vorderen Kapselmechanismus entstehen kann. Diese primäre Instabilität kann über die Kausalkette Instabilität, Subluxation,

Impingement und Degeneration schließlich zur Ruptur der Rotatorenmanschette führen. Andere Autoren lehnen die dominante Rolle des Impingement bei der Entstehung einer Ruptur der Rotatorenmanschette ab und postulieren andere Ursachen. Codman hat vor über 40 Jahren die Vermutung geäußert, daß es die Degeneration der Sehne selbst ist, die zur Ruptur führt. Die Ursache der Degeneration soll in einer avaskulären Zone in der Sehne in der Nähe der Sehneninsertion am Tuberculum majus liegen, die Moseley und Goldie (1963) als kritische Zone bezeichneten. Untermuert wurde diese Vermutung durch histopathologische Studien von Rathburn (1970), Rothmann (1965) und Lindblom (1939). Uthoff (1990) hat in einer Präparatestudie herausgefunden, daß in der Mehrheit der Fälle die Ruptur der Rotatorenmanschette von der Gelenkseite her beginnt; was dem Postulat eines Impingement widerspricht, da hier der Rupturbeginn von der acromialen Seite her zu erwarten ist. Ozaki (1988) fand heraus, daß bei partiellen Rupturen die Mehrheit der Läsionen bursaseitig lokalisiert waren, wogegen bei kompletten Rupturen die gelenkseitigen Veränderungen an der Rotatorenmanschette am stärksten waren. Beide Autoren glauben, daß Impingement-Syndrome eher sekundäre Folge einer Läsion der Rotatorenmanschette sind. Andere Autoren untersuchten die Durchblutung in der Supraspinatussehne mittels Mikroradiographie und Laser-Doppler-Sonographie und fanden eine normale Durchblutung in allen Sehnenabschnitten (Moseley 1963, Swionowski 1990). Dieses Ergebnis spricht gegen die Theorie einer avaskulären Zone als Ursache der Sehnendegeneration und präferiert die Impingement-Theorie.

2.2.4 Degenerationen des vorderen Kapselapparates

Degenerative Strukturveränderungen am Labrum und der Gelenkkapsel entstehen vor allem nach Traumata verursacht durch Schulterluxationen (Henry 1982, Rowe 1956 und 1980). Das fibröse Gewebe des Labrum kann degenerieren, einreißen oder sich ablösen (Andrews 1985, Rowe 1990). Diese Veränderungen bilden sich in der Mehrheit der Patienten schon innerhalb der ersten zwei Jahre nach der ersten traumatischen Luxation aus. Durch die Luxation werden die Ligg. glenohumeralia und die Gelenkkapsel stark gedehnt, was zur weiteren Destabilisierung des Schultergelenkes führt. Weiterhin werden reaktive Knochenneubildung am Glenoid beobachtet, die intraartikulär nahe der Insertion der Gelenkkapsel an der Scapula liegen. Die vordere Instabilität wurde schon von Hippokrates beschrieben (in Adams 1849). Während bei jüngeren Patienten die Ursache einer Instabilität meist in posttraumatischen Luxationen liegt, ist bei älteren Patienten meist eine Rotatorenmanschettenruptur oder eine subkapitale Humerusfraktur verantwortlich. Weitere Ursachen einer Gelenkinstabilität sind

große Hill-Sachs-Läsionen (Lehmann 1990), Aplasie der glenoidalen Gelenkfläche (Rockwood 1975), vordere Pfannenrandfrakturen, Überdehnung des vorderen Kapsel-Band-Apparates, Ablösung von Labrum und Kapsel vom vorderen Glenoid bzw. Skapulahals oder eine posttraumatische Laxität mit partieller Ablösung des M. subscapularis (Bankart 1938, Rowe 1978). In ca.15% der Patienten bleibt die Ursache der vorderen Instabilität ungeklärt (Rowe 1978).

2.3 Klinik und Symptomatologie von Schultergelenkserkrankungen

Bei Erkrankungen des Schultergelenkes stehen schmerzbedingte Bewegungseinschränkungen im Vordergrund. Bei Erkrankungen der Supraspinatussehne kommt es häufig zum sogenannten schmerzhaften Bogen („painful arc“). Bei einer Abduktion des Oberarmes zwischen 50° und 100° tritt eine schmerzhafte Einengung der Supraspinatussehne zwischen Schulterdach und Tuberculum majus ein. Zur Schmerzlinderung rotieren die Patienten den betroffenen Arm bei der Abduktion nach außen.

Viele Patienten klagen über unspezifische Beschwerden bei Bewegungen im Schultergelenk, die unter dem Begriff Periarthropathia humeroscapularis (PHS) subsumiert werden. Zu den Erkrankungen, die den Beschwerden zugrunde liegen, zählen das Impingement-Syndrome, die Tendinosis calcarea, die Degeneration bzw. die Ruptur der Rotatorenmanschette und die schmerzhafte Schultersteife (frozen shoulder). Unter dem Impingement-Syndrom versteht man den bei der Abduktion und Elevation auftretenden Schulterschmerz, der durch eine Einengung des Raumes zwischen dem Schulterdach und dem Humeruskopf entsteht (Meyer 1937). Neer (1972 und 1983) fand diesen Zustand bei 95% der Patienten mit einer Ruptur der Rotatorenmanschette.

Unterschiedliche anatomische Varianten des Acromions werden als eine Ursache des Impingement diskutiert, wobei nach Bigliani et al. (1986) drei Typen unterschieden werden. Typ 1 ist das flache Acromion, beim Typ 2 ist das Acromion schon gerundet und Typ 3 benennt das zur Rotatorenmanschette hakenförmig vorgewölbte Acromion. Das Acromion vom Typ 3, bei dem der subacromiale Raum stark eingeengt wird, korrelierte am besten mit einer Ruptur der Rotatorenmanschette. Desweiteren können hypertrophe arthrotische Deformitäten im Acromioclavikulargelenk Druck auf die Supraspinatussehne ausüben (Kessel 1977, Peterson 1983). Die Stadien des Impingement-Syndromes und die dadurch abgeleiteten Therapieansätze hat Neer (1972 und 1983) wie folgt unterschieden:

Das Stadium 1 findet man bei Überbeanspruchung wie sie z. B. im Sport auftreten. Hierdurch kommt es zum Ödem und zu partiellen Nekrosen innerhalb des Sehnengewebes. Dieses Stadium findet sich typischerweise bei Jugendlichen und ist durch konservative Maßnahmen potentiell reversibel.

Im Stadium 2 besteht eine Verdickung und eine zunehmende Fibrosierung der Supraspinatussehne. Das Aufquellen der Sehne kann entweder durch ein Trauma oder eine Entzündung ausgelöst werden.

Im Stadium 3 schließlich kommt es durch fortdauernde Affektion der Sehne zur partiellen oder kompletten Ruptur der Rotatorenmanschette. Dieses Stadium findet man vorwiegend bei über 40 jährigen Patienten.

Die Ruptur der Rotatorenmanschette kann schon bei mäßigen Anstrengungen auftreten. Der betroffene Arm kann nicht mehr aktiv über die Horizontale eleviert werden, was als Pseudoparalyse bezeichnet wird (Zilch 1989).

Bei der klinischen Untersuchung steht die Inspektion des erkrankten Gelenks im Vordergrund. Hierbei muß der Untersucher auf Fehlstellungen der Gelenkachsen achten und Schonhaltungen, Rötung, Schwellungen, Hämatome oder Muskelatrophien erkennen (Smith 1992). Die anschließende Palpation schließt die Halswirbelsäule und den Schultergürtel ein. Druckpunkte sind das Tuberculum majus bei Affektionen der Rotatorenmanschette, der Processus coracoideus beim Impingement-Syndrom und der Sulcus intertubercularis bei Affektion der Bizepssehne (Wirth 1990). Die Bewegungsprüfungen umfassen die aktive und passive Beweglichkeit in allen Ebenen. Um die isolierte Artikulation im glenohumeralen Gelenk zu testen, wird unter Fixierung des unteren Scapulawinkels durch Daumen und Zeigefinger der Bewegungsumfang in Abduktion, Elevation, Adduktion, Ante-, Retroversion, Innen- und Außenrotation nach der Neutral-Null-Methode quantifiziert (DePalma 1983, Rizk 1982, Zilch 1989). Ein auftretender Schmerz bei der Abduktion von 90°, der durch Innenrotation verstärkt wird, spricht für ein Impingement-Syndrom (Neer 1977, Smith 1992). Das „drop arm sign“ bezeichnet die Unfähigkeit des Patienten, den auf 90° abduzierten Arm nicht in dieser Stellung halten zu können. Weiterhin ist die Elevation nur begrenzt möglich (Norwood 1989). Ein spezieller Test für die Funktion der langen Bizepssehne ist der Yergason-Test. Hierbei muß der Patient bei 90° Flektion im Ellenbogen und gleichzeitiger Pronation versuchen, die Hand gegen einen Widerstand zu supinieren.

Der vordere Kapselapparat wird getestet, indem man versucht, den Humerus aus der Gelenkpfanne zu subluxieren. In Abduktion und Außenrotation des Armes wird durch Daumendruck

von dorsal her der Humeruskopf auf den Pfannenrand in Subluxationsstellung drückt. Ist dies möglich, so spricht man von einem positiven Apprehension-Test.

2.4 Diagnostisches Regime und Vorgehensweise

Die Vorgehensweise beim Vorliegen von Erkrankungen der Schulter beinhalten die Anamnese und klinische Untersuchung und die Sonographie. Im Anschluß daran werden spezielle Fragestellungen durch die CT- oder MR-Arthrographie geklärt.

2.4.1 Sonographie

Die erste apparative Diagnostik bei den Erkrankungen des Schultergelenkes ist die Ultraschalluntersuchung. Sie ist nicht invasiv und kann ohne größeren apparativen Aufwand von einem erfahrenen Untersucher in fast jeder Umgebung angewandt werden (Burk 1989, Farin 1990, Harcke 1988, Middleton 1987, Sell 1992, Seltzer 1979). Mit der Sonographie kann das Schultergelenk in verschiedenen Ebenen dargestellt werden, wobei meist ein 5 oder 7,5 MHz Schallkopf benutzt wird. Weitere Vorteile der Sonographie bestehen in der unter sonographischer Kontrolle aktiven Bewegung im Gelenk und in der vergleichenden Darstellung beider Schultergelenke (Burk 1989, Middleton 1984 und 1986).

Bei einer kompletten Ruptur werden folgende sonographische Befunde erhoben: fehlende Darstellbarkeit der Rotatorenmanschette mit sogenannter Humerusglatze, Konturunterbrechung der Supraspinatussehne, Kalibersprünge und gestörter Gleitprozeß bei der dynamischen Untersuchung (Burk 1989, Farin 1990, Katthagen 1988, Middleton 1985 und 1987, Miller 1989, Sell 1992). Unter Anwendung dieser Kriterien fanden verschiedene Autoren eine Genauigkeit der Detektion einer kompletten Ruptur von über 90% (Hodler 1991, Middleton 1985 und 1986, Schlepckow 1987).

Die sonographische Diagnose einer partiellen Ruptur ist dagegen schwieriger. Man findet eine erhöhte Echogenität innerhalb der Sehne mit Ausdünnung, Diskontinuität der Sehne mit abwechselnd echoarmen und echoreichen Bezirken oder eine bestehende Verdickung der Sehne (Farin 1990, Hedtmann 1987, Hodler 1988). Ein Problem in der Diagnosestellung einer partiellen Ruptur liegt in der großen Variabilität der Echogenität der Sehne in Abhängigkeit des Einfallwinkels des Ultraschalles (Burk 1989, Coumas 1992).

In der Diagnostik von Pathologien des vorderen Kapselapparates stellt die Sonographie Hill-Sachs-Läsionen und Gelenkergüsse dar (Hodler 1991). Die Darstellung des glenoidalen Labrums ist demgegenüber schwierig (Iannotti 1991).

2.4.2 Konventionelle Röntgenuntersuchung

Für die Darstellung des Schultergelenkes im Röntgenbild reichen in der Regel a.p. Aufnahmen in Innen- und Außenrotation aus. HILL-SACHS-Läsionen und die knöchernen Veränderungen des Pfannenrandes sind meist zu erkennen (Lehmann 1990). Spezialaufnahmen nach Hermodson, Hall, Johner, Bernageau, Rokous oder Didiee ergänzen die Standardaufnahmen. Weiterhin kommen Verkalkungen der Supraspinatussehne (Tendinosis calcarea) zur Darstellung (Siman 1975). Bei Verdacht auf eine komplette oder partielle Ruptur der Rotatorenmanschette kann man im Anschluß an die oben angeführten Aufnahmen eine Arthrographie des Schultergelenkes durchführen. Diese Untersuchung war über 5 Jahrzehnte der Goldstandard für den Nachweis von Rupturen der Supraspinatussehne (Burk 1989, Singson 1987). Die Arthrographie wird in Doppelkontrast-Technik durchgeführt. Nach Gelenkpunktion werden unter Bildwandlerkontrolle 2ml Kontrastmittel und 10ml Luft in den Gelenkspalt injiziert (Fischedick 1986). Dann wird der Arm passiv durchbewegt, damit sich im Gelenk eine guter Doppelkontrast ausbilden kann. Dann werden a.p. Aufnahmen bei Abduktion, Innen- und Außenrotation und axiale Aufnahmen angefertigt. Tritt Kontrastmittel in die Bursa subacromialis über, spricht dies für eine komplette Ruptur der Rotatorenmanschette. Von einer partiellen Ruptur ist auszugehen, wenn das Kontrastmittel über das kaudale Niveau des Sehnengürtels hinaus nach kranial innerhalb des Sehnengewebes vordringt. Ein wichtiger Nachteil der konventionellen Schulterarthrographie liegt im schwierigen Nachweis von Labrumläsionen nach Schulterluxationen (Deutsch 1984).

2.4.3 Computerarthrotomographie (Arthro-CT)

2.4.3.1 Technik der CT

In einem Computertomographen rotiert eine Röntgenröhre kreisförmig um den Patienten, die mit einem Blendensystem ein fächerförmiges Strahlenbündel erzeugt. Ein stationärer Detektorkranz um den Patienten oder ein mitrotierendes Segment mit Detektoren mißt die ankommenden Strahlen, die durch das zu untersuchende Objekt geschwächt wurden. Die rotierende Röntgenröhre wird mit einer Spannung von 120-150kV und einem Strom-Zeit-Produkt von 400 bis 1250mAs betrieben. Der Tisch mit dem Patienten wird entweder schrittweise durch die Gantry mit dem Strahler-Detektor-System geschoben, wobei jeweils einzelne Schnittbilder gewonnen werden (Incremental-CT). Die Messung muß sooft

wiederholt werden, bis der Organabschnitt lückenlos durch eineinanderliegende Schnittbilder erfaßt ist. In einer anderen Technik bewegt sich der Patiententisch mit kontinuierlicher Geschwindigkeit durch die Meßeinheit, so daß das gesamte Organabschnitt in einem Meßvorgang spiralförmig abgetastet wird (Spiral-CT).

Die Bildrekonstruktion des untersuchten Objektes erfolgt aus den Absorptionsmeßdaten der Detektoren, die Schwächungsprofile der Röntgenstrahlen darstellen. Man erhält digitale Schnittbilder, deren Bildpunkte (Pixel) Volumenelemente (Voxel) im Körper gemäß der Formel: $\text{Voxel} = \text{Pixel} * \text{Schichtdicke}$ repräsentieren.

Die Schichtdicke sollte dem untersuchenden Objekt angepaßt sein und reicht von 1mm bis zu 12mm, die Größe der Pixel liegt im Bereich von 0,2x0,2mm - 0,8x0,8mm. Die verschiedenen Graustufen repräsentieren die unterschiedliche Dichten der untersuchten Geweben und werden nach Hounsfield angegeben. Die Standardgewebe sind Wasser mit einer Dichte von 0 Hounsfield Units (HU) und Luft mit -1000 HU. Zur Verbesserung des Gewebekontrastes können Kontrastmittel benutzt werden. In der Computertomographie finden vor allem nicht ionische und nur gering osmotisch wirksame Kontrastmittel Anwendung. Wird das Kontrastmittel zur Verbesserung des Binnenkontrastes in den Gelenkspalt injiziert, so spricht man in der CT von einer CT-Arthrographie oder Arthro-CT.

Wie in der konventionellen Arthrographie wird das Schultergelenk unter Röntgenkontrolle von ventral punktiert. Dann werden 3-5ml Röntgenkontrastmittel injiziert und 8-12ml Raumluft hinzugefügt. Die Kontrastmittelmenge sollte ein Volumen von circa 4ml nicht übersteigen, da sonst freie Gelenkkörper maskiert werden können (Kreitner 1993).

Die Technik der Arthro-CT in Kombination mit einer vorher angefertigten konventionellen Arthrographie wurde erstmals von Tirman 1981 beschrieben. Sie hat sich als sensitive und spezifische Methode für die Diagnose von Läsionen des Labrums und der Rotatorenmanschette bewährt (Deutsch 1984, Kieft 1988, Kreitner 1990 und 1993, Mink 1979, Rafii 1986, Shuman 1983, Singson 1987, Zlatkin 1988).

Die Anwendung nicht ionischer, niedrig osmolarer oder isoosmolarer Kontrastmittel, zum Beispiel Iotrolan (Isovist®) oder Iopromid (Ultravist®), bedeutet für die Patienten eine bessere Verträglichkeit und geringere Nebenwirkungsrate. Die Halbwertszeit im Gelenkraum ist im Vergleich zu den hochosmolaren Kontrastmittel erheblich verkürzt.

2.4.3.2 Indikationen zur Arthro-CT

Eine wichtige Indikation für die Durchführung einer CT-Arthrographie der Schulter ist die vordere Instabilität (Bigliani 1987, Deutsch 1984, Häberle 1994, Kreitner 1993, Rafii 1986, Wilson 1989 und 1994, Zlatkin 1988), wie sie nach habituellen oder posttraumatischen Schulterluxationen auftritt (Beltran 1991, Beyer 1985, Farin 1990, Iannotti 1991).

Durch Einbringen von Kontrastmittel in den Gelenkspalt wird die Gelenkkapsel entfaltet und das Glenoid mit dem Labrum optimal dargestellt, wodurch die diagnostische Treffsicherheit von Labrumläsionen erheblich verbessert wird (Bankart 1938, Callaghan 1988, Deutsch 1984, Iannotti 1991, Kieft 1988, Kreitner 1990 und 1993, Pennes 1989, Rafii 1986, Shuman 1983, Singson 1987, Wilson 1989). In der präoperativen Planung vor Arthroskopie oder Arthrotomie hat die Arthro-CT die Aufgabe, operativ relevante Befunde aufzuzeigen, so daß rein diagnostische Arthroscopien und Arthrotomien vermieden werden (Bankart 1938, Bigliani 1987, Callaghan 1988, Deutsch 1984, Iannotti 1991, Kreitner 1990, Rafii 1986, Singson 1987, Turkel 1981).

Auch zur postoperativen Kontrolle nach einigen Monate bis wenigen Jahren eignet sich die CT-Arthrographie. Die Ursache von neu aufgetretenen Instabilitäten nach vorangegangener operativer Korrektur kann minimal invasiv abgeklärt werden (Kreitner 1993, Rafii 1986).

2.4.3.3 CT-Anatomie und Pathologie

In den meisten Fällen stellt sich das anteriore Labrum dreieckig und das posteriore Labrum rund dar (Mc Niesh 1987, Rafii 1986, Wilson 1989). Die Insertion der vorderen Gelenkkapsel am Scapulahals kann in der CT-Arthrographie abgeklärt und nach Moseley (102) und anderen Autoren (Rafii 1986, Rothman 1975, Zlatkin 1988) in 3 Insertionstypen, eingeteilt werden. Der hintere Anteil der Gelenkkapsel inseriert fast immer direkt am Limbus glenoidalis.

Sehr variabel stellen sich auch die drei glenohumeralen Ligamente dar. Dies hängt vor allem daran, daß sie sehr eng mit dem vorderen Anteil der Gelenkkapsel verbunden sind und in die fibröse Gelenkkapsel übergehen (Häberle 1994, Kreitner 1993, Moseley 1962, Rafii 1986, Townley 1950). Nahezu regelmäßig ist nur das Ligamentum glenohumerale superius zu identifizieren.

Durch häufige Luxationen oder auch durch Subluxationen werden vor allem Verletzungen am vorderen glenoidalen Labrum und an der Gelenkkapselinsertion verursacht. Bei einer Luxation nach dorsal sollte der Arm während der Untersuchung in leichter Außenrotation gehalten werden, weil durch dieses Manöver sich die Gelenkkapsel vom hinteren Labrum

abhebt, gleichzeitig das Kontrastmittel von ventral nach dorsal gepreßt wird und dortige Labrumläsionen besser zur Darstellung kommen (Deutsch 1984, Häberle 1994, Mc Niesh 1987). Pennes (1989) fand unter Berücksichtigung der jeweiligen Luxationstendenz eine Verbesserung der Darstellbarkeit von 9% im Vergleich zur konventionellen Aufnahmetechnik. Singson et al. (1987) fanden bei 100% der Patienten mit hinterer Instabilität auch Läsionen am vorderen Labrum. Deswegen empfiehlt auch Pennes eine routinemäßige Durchführung der Arthro-CT in Innen- und Außenrotation.

Bei älteren Patienten ist als Ursache einer Subluxations- oder Luxationstendenz oft eine Degeneration des Limbus zu finden, die nach Meinung einiger Autoren (Deutsch 1984, Kreitner 1993, Rafii 1987) zu Rissen innerhalb des Labrums führen kann.

Obrist (1991) hat in vier verschiedene Typen von Labrumrissen unterschieden:

Beim Typ 1 liegt eine intramurale Ruptur vor, beim Typ 2 ist der Limbus glenoidals isoliert von der Gelenkkapsel abgelöst, Typ 3 stellt eine subperiostale Kapselablösung mit Abhebung des Limbus dar und Typ 4 ist der Limbusabriß mit Dislokation. Entsprechend dieser Einteilung finden sich entsprechende Kriterien für die Diagnostik von Labrumläsionen im Arthro-CT. Bei der Degeneration des fibrösen Gewebes ist das Labrum entrundet und verkleinert. Bei Einrissen kann man ein Kontrastmitteleintritt entlang der Ruptur erkennen. Abriße mit Dislokation, freie Gelenkkörper oder Pfannenrandfrakturen lassen sich problemlos durch den Ein- bzw. Umfluß des intraartikulären Kontrastmittels abgrenzen.

Bei Läsionen der Rotatorenmanschette ist eine komplette Ruptur in der Arthro-CT leicht zu erkennen, da sich hierbei Luft oder Kontrastmittel in der Bursa subacromialis oder in der Bursa subdeltoidea ansammelt. Durch die transversale Schnittführung stellen die inkompletten oder partiellen Rupturen ein Problem dar. Wilson (1989) beschrieb als Kriterium einer partiellen Ruptur ein Eindringen von Luft oder von Kontrastmittel in das Sehngewebe der Supraspinatussehne. Manche Autoren forderten deswegen eine Durchführung der Arthro-CT mit sehr dünnen Schichten von 2-3mm, was aber zur Zunahme der Strahlenexposition führt (Kreitner 1993).

2.4.4 Die Magnetresonanztomographie MRT

2.4.4.1 Prinzip

Das Prinzip der Kernspinresonanz wurde 1946 von Bloch und Purcell. Jedoch dauerte es bis 1971 bis Damadian die Kernspinresonanz zur Bildgebung nutzen konnte. Lauterbur gelang dann 1973 die Abbildung eines flüssigkeitsgefüllten Phantoms.

Zur Bildgebung in der Medizin wird ausschließlich die Kernresonanz der Protonen bzw. Wasserstoffkerne genutzt. Sie besitzen einen Eigendrehimpuls bzw. Kernspin und damit ein magnetisches Moment. Man kann sich die Protonen als kleine Stabmagnete oder Dipole vorstellen. Werden diese Dipole nun in ein starkes magnetisches Feld mit der Feldstärke B_0 gebracht, so richten sich die Dipole aus und können zwei verschiedene Energieniveaus einnehmen. Im energieärmeren Zustand sind die Dipole parallel, im energiereichen Zustand antiparallel zu den magnetischen Feldlinien des externen B_0 -Feldes angeordnet. Die Besetzung der beiden Energieniveaus ist durch die Boltzmann-Gleichung (Gl. 1) gegeben:

Gl.1:	$n_{\uparrow} / n_{\downarrow} = e^{-\Delta E / k \cdot T}$
-------	-------------------------------------------------------------

wobei gilt: n: Besetzungszahl des Energieniveaus mit n_{\uparrow} parallel und n_{\downarrow} antiparallel angeordneten Kerne

ΔE : Energiedifferenz zwischen den beiden Energieniveaus

k: Boltzmann-Konstante mit $k = 1,38054 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

T: absolute Temperatur in Kelvin

Die Drehachsen der Protonen führen im externen Magnetfeld eine Präzessionsbewegung mit einer definierten Drehfrequenz ω_0 aus. Diese Präzessionsfrequenz ω_0 wird Larmor-Frequenz genannt und ist gemäß der Larmor-Gleichung (Gl. 2) exakt proportional zur Feldstärke B_0 :

Gl. 2:	$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$
--------	-------------------------------

γ : gyromagnetisches Verhältnis, beträgt für Protonen $\gamma = 42,5 \text{ MHz/T}$

Um die Resonanzfähigkeit der wirksamen Kernspins auszunutzen, wird ein definierter Hochfrequenzimpuls (HF-Impuls) exakt der Larmorfrequenz von 2-5ms Dauer und circa 10kW

Leistung eingestrahlt. Durch Absorption der HF-Impulse gehen die Protonen in einen Anregungszustand über, d.h. sie klappen in den antiparallelen Zustand und die Präzession wird synchronisiert. Nach Abschalten des HF-Impulses kehren die Spins wieder in ihre Ausgangslage zurück und geben dabei Energie in Form von elektromagnetischen Wellen ab (Relaxation). Die Frequenz dieser emittierten Welle entspricht der des vorher eingestrahnten HF-Impulses, respektive der Larmorfrequenz der Protonen.

Beim 90° -Impuls rotiert der Vektor der Nettomagnetisierung aus der z-Achse heraus in die x-y-Ebene. Dies hat zur Folge, daß die Magnetisierung in z-Richtung abnimmt und in der x-y-Ebene zunimmt. Die Magnetisierung M_z in z-Richtung ist nach dem HF-Impuls null. Die Magnetisierung in der x-y-Ebene M_{xy} nach dem HF-Impuls entspricht der vor dem HF-Impuls bestandenen Nettomagnetisierung M_z .

Beim 180° -Impuls rotiert der Vektor der Nettomagnetisierung durch die x-y-Ebene hindurch in die entgegengesetzte z-Richtung. Hierbei ist die Einwirkungsdauer des HF-Impulses doppelt so groß wie beim 90° -Impuls. Die bei der Relaxation der angeregten Protonen abgegebene Menge an elektromagnetischer Strahlung bestimmt die Intensität, die wiederum von den Gewebeparametern abhängt. Hieraus lassen sich die Spindichte, die longitudinale Relaxationszeit T_1 (auch als Spin-Gitter-Relaxationszeit bezeichnet) und die transversale Relaxationszeit T_2 (die Spin-Spin-Relaxationszeit) ableiten. Die T_1 -Zeiten für die meisten menschlichen Gewebe liegen zwischen 100-2000ms, für T_2 zwischen 10-200ms. Um die räumliche Verteilung der einzelnen Atome genau bestimmen zu können, werden zu dem externen Magnetfeld weitere, jeweils senkrecht aufeinander stehende Magnetfelder, die Gradientenfelder angelegt. Die Gradientenfelder ändern linear in allen drei Raumrichtungen die Resonanzfrequenz der Protonen, so daß über die Frequenzanalyse eine Ortskodierung möglich ist.

2.4.4.2 Sequenzen und Kontrastmittel

Man unterscheidet Spin-Echo-, Multiecho-, Inversion-Recovery-, STIR- (short T_1 , inversion recovery) und Gradientenechosequenzen, wie FLASH oder FISP. Die am häufigsten verwandte Pulssequenz ist die Spin-Echo-Sequenz, wobei 90° und 180° HF-Impulse in bestimmten Zeitabständen nacheinander auf das Objekt eingestrahlt werden:

Die Sequenz startet mit einem 90° -Impuls. Nach der Zeit $t = \tau$ wird ein 180° -Impuls zur Refokussierung der in der x-y-Ebene divergierenden Spins eingestrahlt. Nach der Zeit $2 * \tau$ entsteht dann das Signal von den angeregten Protonen. Mit jeder Anregung

kann jeweils nur eine Zeile der Bildmatrix ausgelesen werden, so daß der komplette Vorgang aus Anregung und Auslenkung entsprechend der Zeilenzahl nach der Repetitionszeit t_r wiederholt werden muß, bis das Schnittbild fertig ist. Bei den schnellen oder Turbo-Spinecho-Sequenzen können mit einer Anregung 4-32 Zeilen gleichzeitig ausgelesen und in eine Bildmatrix eingeordnet werden; entsprechend ist die Meßdauer verkürzt.

Werden bei der Spin-Echo-Sequenz die Repetitions- und die Echozeit geeignet gewählt, so können T_1 -, protonen- oder T_2 -gewichtete Bilder erzeugt werden, deren Kontrast ganz überwiegend von der T_1 - oder T_2 -Zeit, bzw. von der Protonendichte abhängt:

	Repetitionszeit (TR)	Echozeit (TE)
T_1 -Wichtung:	300-500 ms	30 ms
T_2 -Wichtung:	1600-2200 ms	60-90 ms
Protonen-Dichte:	1600-2200 ms	30 ms

Durch Kontrastmittel lassen sich Gewebekontraste noch verstärken. Sie verkürzen die gewebespezifischen Relaxationszeiten. Geeignet sind vor allem para- und superparamagnetische Substanzen:

Das Gadolinium-Ion, welches im Komplex DTPA als Zentralatom gebunden ist, verkürzt die T_1 -Relaxationszeit und führt in Verbindung mit T_1 -gewichteten Sequenzen zum Signalanstieg am Ort der Anreicherung.

Diese Substanz wurde bisher nur intravenös verwendet. Hajek (1987 und 1990) setzte Gd-DTPA erstmals intraartikulär in verschiedenen Konzentrationsstufen ein und fand, daß es unschädlich gegenüber hyalinem Gelenkknorpel und tendinösem Gewebe ist. Diese Untersuchung und auch weitere Anwendungen durch Zlatkin an Leichenpräparaten (1991), Karzel u. Mitarbeiter (1993), Flannigan u. Mitarbeiter (1990), Palmer u. Mitarbeiter (1994) und Kreitner u. Mitarbeiter (1994) an einem klinischen Kollektiv haben die geringe Toxizität bei der intraartikulären Applikation gezeigt.

Eine weitere Technik, die den Binnenkontrast im Rahmen der intraartikulären Anwendung von Gadolinium noch verstärkt, ist die Fettunterdrückung nach dem „chemical-shift“-Prinzip (Fritz 1992, Mirowitz 1991, Palmer 1993, Vahlensieck 1992). Hierbei wird ein Vorsättigungsimpuls abgegeben, der der Resonanzfrequenz von Fettgewebe entspricht. Damit steht Fettgewebe nicht mehr für die folgende Anregung zur Verfügung und erscheint signalfrei schwarz (Kreitner 1990). Gewebe, die keine Lipide enthalten und sehr kurze T_1 -Relaxationszeiten haben (z.B. kontrastmittelaufnehmende Tumoren oder Gelenkbinnenräume nach Injektion von Kontrastmittel) erscheinen dann selektiv sehr signalreich.

2.4.4.3 MR-Anatomie und Pathologie

In der Darstellung des Schultergelenkes werden im Allgemeinen drei Standardebeneen verwandt (Beyer 1985, Kieft 1986, Seeger 1987). Die parakoronare Schichtführung wird parallel zum Verlauf der Sehne des M. supraspinatus eingestellt. Die zweite Schicht entspricht der axialen Einstellung der Arthro-CT und stellt den vorderen Kapselapparat und das hintere Labrum dar. Die dritte Schichtführung sollte so gelegt werden, daß sie parallel zu der Ebene der Fossa glenoidalis verläuft und senkrecht zur paracoronaren Ebene steht.

Die Darstellung der Muskulatur der Rotatorenmanschette, insbesondere des M. supraspinatus gelingt am besten in der parakoronaren Ebene. Hierbei ist der komplette Verlauf des Muskels vom Ursprung in der Fossa supraspinatus, über den Humeruskopf zur Insertion am Tuberculum majus zu verfolgen. Weiterhin lassen sich bei dieser Ebene die Muskelzüge des M. deltoideus gut abgrenzen. Auch kommen die Bursa subdeltoidea und die mit ihr kommunizierende Bursa subacromialis sehr gut zur Darstellung, wie auch der subdeltoideale bzw. subacromiale Fettstreifen (Chandnani 1992, Kieft 1988, Seeger 1987 und 1988, Zlatkin 1989).

Hingegen sind die Mm. infraspinatus, teres minor und subscapularis auf der axialen Schichtebene besser zu erkennen. Der M. biceps brachii mit der Sehne des Caput longum ist sowohl auf der parakoronaren wie auf der axialen Schichtebene dargestellt.

Läsionen der Rotatorenmanschette entstehen zum größten Teil auf der Basis von degenerativen Prozessen, aus denen sich dann partielle oder komplette Rupturen entwickeln können. Am häufigsten ist die Sehne des M. supraspinatus betroffen. Für die Darstellung ist die parakoronare Schnittführung parallel zum Verlauf der Sehne des M. supraspinatus optimal. Bei den Degenerationen und zystischen Umwandlungen der Sehne finden sich in den protonen- und T_2 -gewichteten Bildern erhöhte Signalintensitäten.

Mit der MR-Arthrographie lassen sich zusätzliche Informationen über den Zustand der Sehne gewinnen. Die intraartikuläre KM-Injektion erhöht den intraartikulären Druck und hebt die Sehne vom Humeruskopf ab, wodurch kleine und partielle Rupturen häufig erst sichtbar werden (Flannigan 1990, Kreitner 1994, Zlatkin 1994). Weiterhin kann das applizierte Gd-DTPA bei partiellen oder kompletten Rupturen in die Sehne gelangen und zu einer Erhöhung der Signalintensität in T₁-gewichteten Sequenzen führen. Dadurch können partielle von kompletten Rupturen besser unterschieden werden.

Vor allem Läsionen der Subskapularissehne werden in der MR-Arthrographie besser gesehen. Eine Luxation der Sehne des langen Bizepskopfes ist am leeren Sulcus intertubercularis problemlos nachzuweisen, wobei die Sehne selbst dann meist ventral neben dem vorderen Labrum zu identifizieren ist.

Der Kapselapparat kommt am besten auf der axialen Schnittführung zur Darstellung. Das Labrum zeigt ein homogenes Signal mit geringer Intensität in allen SE-Sequenzen (Huber 1986, Iannotti 1991, Seeger 1987 und 1988, Zlatkin 1988 und 1989). Die Morphologie des Labrums variiert stark, die häufigste Erscheinungsweise ist die trianguläre Form (Huber 1986, Iannotti 1991, Liou 1993, Kieft 1986, Seeger 1987, Zlatkin 1988). Weiterhin können vor allem auf den axialen Schichtaufnahmen die Kapselinsertionstypen 1-3 nach Moseley (1962, Rothman 1975) erkannt werden und die jeweils vorhandenen glenohumeralen Ligamente dargestellt werden.

Die vordere Instabilität ist in den meisten Fällen mit einer Läsion des vorderen Labrums assoziiert (Iannotti 1991, Zlatkin 1991). Bei Degeneration, Einriß oder kompletter Ablösung des Labrums haben Jerosch (1992) und Iannotti (1991) folgende Befunde in der MR-Arthrographie erhoben:

Iannotti unterteilte die Labrumläsionen in 4 Typen. Beim Typ 1 ist ein erhöhtes Signal innerhalb des Labrums in T₁-gewichteten Sequenzen vorzufinden, das ein Äquivalent zur internen Degeneration ohne Ruptur ist. Beim Typ 2 ist das Labrum aufgefasert ohne entsprechende Änderung des Signalverhaltens. Der Typ 3 stellt eine Ruptur des Labrums dar, der in protonengewichteten Sequenzen mit einem Signalanstieg einhergeht und die Oberfläche des Labrums erreicht. Typ 4 bezeichnet die Kombination aus Typ 2 und 3. Jerosch hat bei der instabilen Schulter insgesamt 6 Labrumformen gefunden, die mit folgenden Häufigkeiten auftraten: dreieckig (38%), rund (32%), eingezogen (10%), flach (9%), fehlend (3%), lokal erhöhte Signalintensität (8%).

Die Form des Labrum ist am besten in der axialen Schichtebene zu beurteilen. Weitere Befunde, die bei einer vorderen Instabilität auftreten, sind die Ruptur eines oder mehrerer der drei Ligg. glenohumeralia, die Bildung eines großen ventralen Gelenkrecessus bzw. einer Luxationstasche und eine Verlegung des Ansatzes der Gelenkkapsel nach medial auf den Skapulahals (Typ III der Kapselinsertion nach Moseley).

Garneau et al. (1991) ebenso wie Flannigan et al. (1990) fanden, daß die Ligamenta glenohumeralia in der nativen MRT nur mit einer Sensitivität von 44% und einer Spezifität von 66% nachzuweisen sind. Im Gegensatz dazu fanden Kieft (1988) und Seeger (1988) eine exzellente Darstellbarkeit von 100%. Beide Autoren hatten keine standardisierte Referenz, so daß eine Berechnung der Spezifität nicht möglich war. Flannigan et al. fanden eine deutliche Verbesserung der Darstellbarkeit der Labrumstrukturen in der MR-Arthrographie. Durch die intraartikuläre Injektion von Gadolinium kommt es zu einer besseren Kontrastierung der Binnenstrukturen. Die injizierte Flüssigkeitsmenge hebt die Gelenkkapsel von den Ligg. glenohumeralia und dem Labrum ab (Legan 1991, Zlatkin 1988), wodurch Läsionen an diesen Stellen demaskiert werden.

2.5 Therapieansätze

Je nach Verletzung oder Schädigung des kapsulolabralen Komplexes der Schulter oder der Rotatorenmanschette werden unterschiedliche therapeutische Vorgehensweisen gewählt. Schäden am kapsulolabralen Komplex werden meist durch operative Intervention rekonstruiert. Dies kann teilweise mit einer ventralen Spananlage bei vorderen Labrumläsionen oder je nach Luxationsform durch Straffen der ventralen oder dorsalen Kapsel und Ligamente erfolgen (Bankart 1938, Kreitner 1990, Singson 1987).

Kleine Rupturen oder Degenerationen der Rotatorenmanschette werden in der Regel konservativ mit physikalischen Maßnahmen behandelt. Große Defekte der Rotatorenmanschette, insbesondere bei jungen, sportlich aktiven Patienten, werden meist frühzeitig chirurgisch rekonstruiert.

3 Patienten und Methoden

Teil A: Experimentelle Studie an 32 Schultergelenkpräparaten

3.1 Gelenkpäparate

Es wurden Präparate aus den Schultergelenken von 32 Patienten untersucht. Die Präparate wurden im Rahmen einer genehmigten Obduktion am Institut für Pathologie der Universität Gießen in einer chirurgischen Technik 1993 entnommen, um Defekte oder gar Amputationen zu vermeiden. Die Gelenkteile entstammen von 13 Frauen (41%) und 19 Männern (59%). Der Jüngste war 25, der Älteste 95 Jahre alt mit einem mittleren Alter von 62,6 Jahren und einer Standardabweichung von 15,6 Jahren. Für die Auswahl wurden keine Selektionskriterien und zunächst auch keine Krankengeschichten berücksichtigt. Die Krankenunterlagen wurden erst nach der Entnahme eingesehen und ergaben keine Hinweise auf ein Schulterleiden zu Lebzeiten der Patienten. Unter der Gelenkpräparaten befanden sich 21 rechte (10 Frauen, 11 Männer) und 11 linke (3 Frauen, 8 Männer) Gelenke. Alle Präparate wurden zunächst kernspintomographisch, dann arthroskopisch und zuletzt makroskopisch und mikroskopisch untersucht. Von 27 Präparaten (84%) wurde eine Biopsie von ca. 1cm Größe zur histologischen Aufarbeitung entnommen, die aus der Supraspinatussehne oder ihrer Insertion entstammte. Kernspintomographisch wurden alle Gelenke nacheinander nach einem vorher definierten Protokoll aus 11 Sequenzen untersucht (s.u.), das neben den klassischen Spinechosequenzen auch Gradientenecho-Sequenzen und die MR-Arthrographie einschloß.

3.1.1 Präparation der Schultergelenke

Bei den Obduktionen wurden die Schultergelenkpräparate von erfahrenen Präparatoren subkutan unter Belassung der Subkutis und der Schultermuskulatur chirurgisch exstirpiert. Über einen dorsolateralen Hautschnitt und Spreizung der Deltoideusmuskulatur wurde das Glenohumeralgelenk erreicht, das unter Mitnahme der Gelenkkapsel, der Rotatorenmanschette, Teilen der Skapula mit unmittelbar anliegenden Muskeln entnommen wurde. Die Mm. deltoidei, pectorales und trapezius wurden belassen, nach Entnahme adaptiert und der Eingriff mit einer Kutisnaht abgeschlossen. Pro Leichnam wurde jeweils ein Schultergelenkpräparat gewonnen. Die Präparate wurden zwischen den einzelnen Untersuchungen bei -18°C tiefgefroren gelagert.

3.1.2 Sequenzprotokoll

Für die Messungen in der MRT wurden die Präparate im Wasserbad langsam aufgetaut, bis ein im Präparat positioniertes Thermometer über 30° C anzeigte. Die Messungen wurden am 1,5T Magnetom (Firma Siemens, Erlangen) durchgeführt. Als Spule diente eine Doppel-Helmholtz-Spule, wie sie für Kopf- oder Halsuntersuchungen eingesetzt wird. Dieser Spulentyp gewährleistet eine homogene Signalintensitätsverteilung im gesamten Meßvolumen und eine stabile, reproduzierbare Lagerung des Gelenkpräparates im Zentrum der Spule. Jedes Gelenk wurde mit der inneren Skapulafläche nach unten und der Achse des Humerusschaftes parallel zum Untersuchungstisch in der Spule plziert. Die Ausrichtung des Gelenkpräparates war zudem mit den Lichtzeigern des MR-Gerätes zu kontrollieren.

Für den Sequenzvergleich wurden folgende 11 Sequenzen in parakoronarer, sagittaler und axialer Schnittführung zum Gelenkspalt eingesetzt. Wichtigstes Ziel war der Vergleich der MR-Arthrographie mit den nativen MR-Sequenzen unter den standardisierten Bedingungen einer Präparatestudie.

Nummer:	Wichtung:	Orientierung:	Relaxationszeit TR:	Echozeit TE:	Dauer:	Aquisitionen:	FOV ""
1	/	Localizer					
2	T1	axial "	610 ms	20 ms	315 s	2	170
3	T1	parakoronar '	610 ms	20 ms	315 s	2	170
4	T1	sagittal '"	610 ms	20 ms	315 s	2	150
5	PD	parakoronar '	2000 ms	20 ms	515 s	1	170
6	T2	parakoronar '	2000 ms	80 ms	515 s	1	170
7	Turbo PD	parakoronar '	2700 ms	19 ms	237 s	1	180
8	Turbo T2	Parakoronar '	2700 ms	93 ms	237 s	1	180
intraartikuläre KM-Gabe							
9	T1	parakoronar '	610 ms	20 ms	159 s	1	170
10	T1	axial "	650 ms	15 ms	336 s	2	170
11	T1 - FS '"	parakoronar '	500 ms	15 ms	259 s	2	170

- ' : Ebene verläuft parallel zum Corpus und zur Sehne des M. supraspinatus
- " : Ebene befindet sich in 90° Winkel zur Humerusachse
- ''' : Ausrichtung der Ebene ist die Verbindungslinie zwischen vorderem und hinterem Labrum glenoidale
- '''' : Sequenz mit Vorsättigungsimpuls für das Fettgewebes, **Fat Suppressed**
- ''''' : field of view

Nach Durchführung der ersten 8 Messungen wurde das paramagnetische Kontrastmittel intraartikulär injiziert. Hierbei wurde zunächst 1ml Gadolinium Gd-DTPA (Magnevist, Fa. Schering, Berlin) mit physiologischer NaCl-Lösung 0,9% auf 100ml verdünnt. Die Gelenkhöhle wurde von ventral her punktiert und 10ml des verdünnten Kontrastmittelgemisches injiziert. Die intraartikuläre Lage des Kontrastmittels bestätigte sich auch durch eine zunehmende Wulstung der Gelenkkapsel. Nach kurzen Rotationsbewegungen zur gleichmäßigen Verteilung des Kontrastmittels wurde die Punktionsnadel zurückgezogen, der Tisch wieder an die ursprüngliche Position gebracht und die Messungen bei der neunten Sequenz fortgeführt.

3.1.3 Arthroskopische Untersuchung

Die Arthroskopie wurde 1-7 Tage nach den MRT-Untersuchungen durchgeführt. Die Schultergelenke wurden durch erfahrene Ärzte der Abteilung für Orthopädie der JLU-Gießen arthroskopiert. Hierzu wurden die Präparate vorher aufgetaut. Der verbliebene Humerusschaft in aufrechter Position in einem Schraubstock fixiert. Dann wurde ein ventraler Gelenkzugang für das Arthroskop und ein zweiter, kraniodorsaler für den Tasthaken gewählt. Das Schultergelenk wurde in der üblicher Weise arthroskopiert, das heißt zuerst in Neutral-Null-Stellung, danach in Elevation jeweils in Innen- und Außenrotation. Diese dynamische Untersuchung erlaubte eine Beurteilung der Gelenkbinnenarchitektur. Die hierbei erhobenen Befunde wurden sowohl auf Videobänder als auch schriftlich vom jeweiligen Untersucher auf dazu in der Routine benutzten Untersuchungsbögen nach Jensen und Klein fixiert.

3.1.4 Makro- und mikroskopische Verarbeitung

Um einen Vergleich der Befunde in MRT und Arthroskopie mit einem Standard zu bekommen, wurden die Präparate auch makroskopisch und mikroskopisch untersucht. Ein

besonderer Schwerpunkt lag hierbei auf den Nachweis von degenerativen Veränderungen und von partiellen Rupturen der Supraspinatussehne und des Labrums.

Hierbei wurden die Gelenkpräparate im tiefgefrorenen Zustand zunächst mit einer Diamantsäge so geschnitten, daß die Schnittebene entlang der Sehne des M. supraspinatus und des angrenzenden Muskelbauchs verlief und so der parakoronaren Ebene in der Kernspintomographie entsprach. Die entstandenen Schnitten wurden inspiziert und Makrofotos angefertigt. Anschließend wurden Gewebeproben aus der Sehne des M. supraspinatus entnommen. Nach Fixation der Gewebe in 5%iger Formaldehydlösung über 5-7 Tage wurden die Präparate in Schichten von einer Dicke von 0,5mm geschnitten und danach mit Hämatoxylin und Eosin angefärbt. Bei Verdacht auf eine myxoide Degeneration wurde noch zusätzlich eine Spezialfärbungen mit Alzian angefertigt. Die Analyse wurde in Zusammenarbeit mit einem erfahrenen Pathologen des Institutes für Pathologie der Universität ohne Kenntnis der Ergebnisse von Kernspintomographie oder Arthroskopie durchgeführt. Bei der Beurteilung der histologischen Schnitte wurden die Befunde wie folgt klassifiziert:

Sehnenpräparat:

- degenerative Veränderungen verschiedenen Ausmaßes, bis hin zur myxoiden Degeneration oder chondroiden Metaplasie
- fokale Läsionen, wie Verkalkungen oder Entzündungen
- Auffaserungen der kollagenen Faserzüge
- partielle oder komplette Ruptur der Sehne

Sehneninsertion:

- Auffaserung des Sehnenanteiles
- partielle oder komplette Ruptur im Ansatz
- degenerative Veränderungen mit unterschiedlichem Schweregrad
- Osteophytenbildung

Diese Befunde wurden jeweils auf einem speziellen Erhebungsbogen festgehalten.

3.2 Analyse der MR-Bilder

Die Qualität der einzelnen MRT-Sequenz im Sequenzvergleich wurde anhand des Kontrastverhaltens, der Darstellbarkeit vorgegebener anatomischer Strukturen und nachweisbarer Gelenkpathologien semiquantitativ anhand eines vierstufigen Werteskores beurteilt. Er reichte von sehr gut (=1), über gut (=2), befriedigend (=3) bis unzureichend (=4).

Das Kontrastverhalten wurde anhand folgender Kriterien bewertet:

- Kontrast Knorpel - Gelenkflüssigkeit
- Kontrast Knorpel - Knochen
- Knorpelkontur
- Gelenkbinnenraum

Zahlreiche Gelenkstrukturen und Pathologien wurden bewertet:

a.) vorderer Kapselmechanismus:

- Labrum anterius
- ventraler Kapselansatz
- Sehne des Musculus subscapularis und biceps brachii

b.) hinterer Kapselmechanismus:

- Labrum posterius
- dorsaler Kapselansatz
- Sehnen der Mm. supra- und infraspinatus

c) Gelenkpathologien:

- Limbus-Läsion
- Omarthrose
- HILL-SACHS-Defekt
- Impingement-Syndrome
- Bizepssehnenluxation
- Flüssigkeit in der Bursa subacromialis
- Erkrankungen der Subscapularis -, Supra- und Infraspinatussehne, wie Degeneration, partielle oder komplette Ruptur

Für jede Sequenz ließ sich nach Bewertung anhand des vierstufigen Skores eine Durchschnittsnote für die Darstellung einer Gelenkstruktur oder Läsion berechnen. Über einen Zahlenwert war damit die vergleichende Bewertung einer Sequenz erleichtert.

Zudem konnte durch Auswertung der relativ großen Zahl von 32 Gelenken auch die Treffsicherheiten (Sensitivität, Spezifität, Vorhersagewerte und Gesamtgenauigkeit) der Sequenzen für die wichtigsten Gelenkläsionen berechnet werden.

In der gleichen Studie wurde auch die Variabilität der anatomischen Strukturen, die den vorderen Kapselapparat bilden, in der MRT und der Histopathologie erforscht. Die prozentualen Häufigkeiten von folgenden Variationen wurden ermittelt:

- Form des vorderen Labrum
- Unterminierung des fibrösen Labrums durch hyalinen Knorpel
- Häufigkeit der drei Ansatztypen der Gelenkkapsel am Labrum
- Ausbildung und Darstellbarkeit der glenohumeralen Bänder
- Darstellung des subacromialen und subdeltoidealen Fettsaums

3.3 Statistische Auswertung

Nach Beurteilung der MRT-Bilder von allen Sequenzen aller 32 Gelenke wurde aus den diskreten Skorewerten für die Darstellung der genannten anatomischen Strukturen und Pathologien zunächst die Mittelwerte, die Anzahl der verschiedenen Bewertungen und vorhandene Unterschiede auf ein Signifikanzniveau hin berechnet. Zur Verifizierung, ob zwischen der nativen MRT und der MR-Arthrographie Unterschiede in der Darstellbarkeit der anatomischen Strukturen bestehen, wurde als H_0 -Hypothese angenommen, daß keine Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsmethoden in der Darstellbarkeit der anatomischen Gelenkstrukturen bestehen. Mit Hilfe des Wilcoxon-Test für paarige Stichproben und des Vorzeichentest für diskrete Zufallsvariablen wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit α berechnet, mit der H_0 verworfen werden kann. Das gleiche Vorgehen wurde für Unterschiede zwischen der konventionellen T_2 -Sequenz und der Turbo- T_2 -Sequenz beziehungsweise zwischen PD- und Turbo PD-Sequenz angewandt. Ein Zusammenhang zwischen den Befunden in der MRT, Arthroskopie und Histologie wurde mit Korrelationsstudien geklärt, wobei X^2 -Tests und Korrelationen nach Pearsons und Spearman eingesetzt wurden. Ab einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ lagen signifikante Unterschiede vor.

Als letztes wurden die Bewertungen der vorliegenden Erkrankungen, die durch das native MRT und durch die MR-Arthrographie erhoben wurden, mittels Wilcoxon-Test für paarige Stichproben und mittels Vorzeichentest für diskrete Zufallsvariablen verglichen.

Teil B: Klinische Studie mit Vergleich von CT- und MR-Arthrographie der Schulter

3.4 Erhebung der Daten an dem klinischen Patientenkollektiv

Für den klinischen Vergleich von CT-Arthrographie und MR-Arthrographie wurden 38 Patienten aus der Orthopädischen Klinik geschickt. Die Patienten kamen mit Schulterinstabilitäten, wobei aufgrund der vorangegangenen klinischen und evtl. sonographischen Untersuchung der Verdacht auf eine Läsion des Labrumkomplexes oder der Rotatoren-manschette bestand und die Indikation zur CT-Arthrographie bereits gegeben war. Die Patienten wurden über die zusätzliche Untersuchung in der MRT im Rahmen einer klinisch kontrollierten Vergleichsstudie eingehend aufgeklärt und das mündliche Einverständnis eingeholt. Der Patient wurde beide Untersuchungen nur einmal punktiert, wobei die Kontrastmittel für CT und MRT vor der Bildgebung gemischt und simultan in das Gelenkkavum eingebracht wurden. Der eigentliche radiologische Untersuchungsgang bestand dann aus einer konventionellen Arthrographie, einer Arthro-CT und einer MR-Arthrographie.

3.4.1 Durchführung von konventioneller, CT- und MR-Arthrographie

Das Kontrastmittelgemisch für die CT-Arthrographie und MR-Arthrographie bestand aus 5ml eines isoosmolaren Kontrastmittels (Isovist®, Schering, Berlin) und 0,5ml Gd-DTPA (Magnevist®, Schering, Berlin). Von der Firma Schering, die beide Kontrastmittel herstellt, wurde bestätigt, daß beide Kontrastmittel beliebig untereinander mischbar sind, nicht miteinander reagieren und auch nicht ausflocken.

Unter Durchleuchtungskontrolle wurde das steril abgedeckte Schultergelenk von ventral mit einer 20 Gauge-Nadel punktiert. Danach wurden zunächst 1-2ml Kontrastmittel injiziert und die intraartikuläre Lage der Nadel am Monitor kontrolliert. Danach folgten 10-15ml Luft, um Doppelkontrast zu erzielen. Der Patient wurde aufgefordert, den Arm mehrere Male im Schultergelenk zu kreisen, um eine optimale Verteilung des Kontrastmittels innerhalb des Gelenkbinnenraumes zu gewährleisten. Vier Zielaufnahmen des Schultergelenkes beendeten diesen Untersuchungsteil als klassische konventionelle Arthrographie. Innerhalb der nächsten 30 Minuten wurden das Schultergelenk in der Computertomographie untersucht. Hierbei lag der Patient auf dem Rücken, den Arm in Neutral-Null Stellung und in leichter Innenrotation, so daß die Handflächen nach medial zeigten.

Alle CT-Untersuchungen wurden an einem Somatom Plus (Siemens, Erlangen) vorgenommen. Mit einem Zoomfaktor von 4,0 und 3mm dicken Schichten wurde dann das Gelenk vom Akromion bis zum Recessus axillaris lückenlos geschichtet (Matrix: 512 x 512 Pixel, 120kV, 163mA, Knochenfilter). Die Dokumentation auf Laserfilm wurde im Knochenfenster (Breite: 1500 HU, Mitte: 200 HU) durchgeführt. Die Akquisition der Rohdaten dauerte zwischen 10-15 Minuten. Danach wurde der Patient zur Kernspintomographie geschickt, die nochmals 25-35 Minuten beanspruchte. Die Untersuchung fand in einem 1,5T Magnetom (Siemens, Erlangen) statt. Bei der Lagerung des Patienten auf dem Untersuchungstisch wurde auf eine möglichst identische Lagerung des Armes wie bei der Arthro-CT geachtet. Der Patient lag bequem auf dem Rücken, das Schultergelenk war innerhalb der Schulterspule (Doppel-Helmholtz-Spule) durch Polster fixiert. Anschließend wurden folgende Sequenzen eingesetzt :

Nummer:	Wichtung:	Orientierung:	Relaxationszeit TR:	Echozeit TE:	Schicht- dicke:	Matrix: (Pixel)	FOV (mm)	Bemerkung:
1	/	Localizer						Startsequenz
2	T1	parakoronar	600 ms	15 ms	3 mm	256x512	160	
3	T1	axial	600 ms	15 ms	3 mm	256x512	160	
4	T1 - FU	parakoronar	600 ms	15 ms	4 mm	256x256	160	300 Hz Vor-
5	T1 - FU	axial	600 ms	15 ms	4 mm	256x256	160	sättigung

Insgesamt dauerten alle arthrographischen Untersuchungen beginnend mit der Gelenkpunktion bis hin zur Akquisition der letzten MR-Sequenz im Durchschnitt 90 Minuten.

3.4.2 Arthroskopie und Arthrotomie

Alle 38 Patienten wurden operativ über eine Arthroskopie oder offene Arthrotomie behandelt. Die hierbei erhobenen Befunde und therapeutischen Maßnahmen wurden von den Kollegen der Orthopädischen Abteilung auf einem Op-Protokoll notiert. Die Diagnosen dienten als Referenz für die vergleichende Bildgebung in CT und MRT

3.4.3 Analyse der klinischen Daten

Die Frage, ob Unterschiede in der Darstellbarkeit von Gelenkstrukturen und Pathologien zwischen CT-Arthrographie und MR-Arthrographie bestehen, wurde mittels Wilcoxon-Test für paarige Stichproben und dem Vorzeichentest für diskrete Zufallsvariable geprüft.

Die durch die Arthroskopie oder Arthrotomie erhobenen Operationsergebnisse dienten als Goldstandard zur Berechnung der Trefferraten und Vorhersagewerte für die beiden arthrographischen Methoden. Zum Vergleich der Vorhersagewerte wurde der Vierfeldertest für verbundene Stichproben nach McNemar benutzt. Signifikant waren Irrtumswahrscheinlichkeiten von $p < 0,05$.

4 Ergebnisse

Teil A: Ergebnisse der Präparatestudie

4.1 Morphologische Befunde an Gelenkpräparaten in verschiedenen Sequenzen

An 32 Gelenkpräparaten werden die typischen MRT-Befunde dargelegt, die mit verschiedenen Sequenzen erhoben wurden.

4.1.1 Die Rotatorenmanschette

Die Supraspinatussehne war als Leitsehne der Rotatorenmanschette am besten in schräg koronaren Schnitten dargestellt. Die Sehne war in der MRT dann komplett im Längsverlauf mit ihrem Ansatz am Tuberkulum majus und dem Muskelbauch abgebildet. Die gesunde Sehne ist von gleichmäßiger Dicke und in allen Sequenzen signalarm (Abb. 1 a). Bei 12/32 Sehnen wurden kleine intratendinöse Signalanhebungen gesehen, die vorwiegend parallel zur Sehne verliefen. Es handelt sich um kleine Inseln aus Fettgewebe, deren Signal sich mit der Fettsuppression komplett unterdrücken läßt. Dadurch sind sie von kleinen Sehnenrissen mit intratendinöser Flüssigkeitsansammlung gut zu unterscheiden.

Für die Diagnose von degenerativen Veränderungen und Rissen lassen sich verschiedene morphologische Kriterien in der MRT anwenden, die für sich allein nicht so aussagekräftig sind, in ihrer großen Zahl oder in Kombination aber eine zuverlässige Diagnose ermöglichen. Da sind die Kriterien der veränderten Form (abschnittsweise Verdickung oder Verdünnung oder gar Unterberechnung der Sehne) und der veränderten Struktur (umschriebene Signalveränderung im Sehnengewebe). Formänderungen der Sehne lassen sich besonders gut in hochauflösenden Sequenzen mit 512er Matrix erfassen. Für die Diagnose von strukturellen Veränderungen sind Sequenzen mit hohem Gewebekontrast notwendig.

Die Degeneration der Rotatorenmanschette ist optimal in der protonengewichteten Sequenz und etwas schlechter in der T₂-gew. Sequenz zu diagnostizieren, da die mukoide Verquellung des Sehnengewebes zu einem vermehrten Wassergehalt führt (Abb. 4). In der T₁-gew.

Sequenz ist die Degeneration kaum abzugrenzen. Gleichzeitig führt die Degeneration häufig zu einer Aufquellung und damit zu einer Verdickung der Sehne, die in der protonengewichteten Sequenz aufgrund ihrer besseren Auflösung etwas besser zu erkennen ist. Die Turbo-Sequenzen sind den entsprechenden Standardsequenzen gleichwertig. Die MR-Arthrographie bringt keine neuen Informationen, da das Kontrastmittel nicht in die Sehne eindringt.

Partielle Rupturen oder kleine komplette Rupturen erfordern den Nachweis eines Kontrastmitteleintritts in das eingerissene Sehnengewebe. Im Sequenzvergleich ist die MR-Arthrographie am besten geeignet, da sie hohe Auflösung für den Nachweis kleiner Schichtdefekte und hohen Kontrast für die Erkennung von Gelenkflüssigkeit im Einriß in sich vereint (Abb. 4). Die T_2 -gew. Sequenz ist weniger gut, obwohl sie einen hohen Kontrast für Gelenkflüssigkeit hat; das Bildrauschen ist aber verstärkt und damit die Bildschärfe reduziert. Die protonen- und T_1 -gewichteten Sequenzen haben nur einen niedrigen Kontrast zwischen Sehnengewebe und Gelenkflüssigkeit. Die Turbo-Sequenzen zeigen infolge ihrer Technik der Mittelung über mehrere Echos von abfallendem Signalwert eine reduzierte Konturschärfe gegenüber den entsprechenden Standard-SE-Sequenzen und sind daher nur zweite Wahl.

Große komplette Defekte in der Rotatorenmanschette sind in allen Sequenzen zuverlässig zu diagnostizieren (Abb. 5). Die MR-Arthrographie liefert hier wiederum die beste Darstellung. Aber auch T_2 -gew Sequenzen stellen den Defekt kontrastreich dar. Durch Kombination von Fettsuppression mit SE-Sequenzen läßt sich ein Flüssigkeitsdepot in der Bursa subacromialis, das ein wichtiger Hinweis auf eine komplette Ruptur ist, eindeutig vom subakromialen Fettgewebe differenzieren. Die Flüssigkeit bleibt signalreich, während das Signal des Fettgewebes ausgelöscht wird.

4.1.2 Der vordere Kapselapparat

Der vordere Kapselapparat, bestehend aus knöchernem Glenoid, Labrum und vorderer Gelenkkapsel mit ihren glenohumeralen Bändern, stellt sich in der MRT und im anatomischen Präparat sehr variabel dar.

Das vordere Labrum ist in der MRT am besten in axialen Schnitten zu beurteilen, da es im Querschnitt abgebildet ist. Das gesunde Labrum besteht aus wasserarmem Faserknorpel und erscheint in allen Sequenzen sehr signalarm. Das Labrum war nur in 12 Fällen typisch dreieckig geformt, aber in 20 Fällen abgerundet (Abb. 2). Der Ansatz des Labrums am Glenoid war ebenfalls variabel. In nur 14/32 Fälle setzte das Labrum direkt am knöchernen Pfannenrand an und der hyaline Knorpel entwickelte sich medial vom Faserring. In 16/32 Fällen bestand eine partielle Unterminierung der Basis des Faserknorpels durch hyalinen Knorpel. In nur 2 Fällen erstreckte sich der hyaline Knorpel komplett unter die Basis des Labrums, so daß das Labrum dem hyalinen Knorpelbelag aufsaß. Diagramm 1 zeigt die Verteilung der Unterminierungsgrade des Labrums.

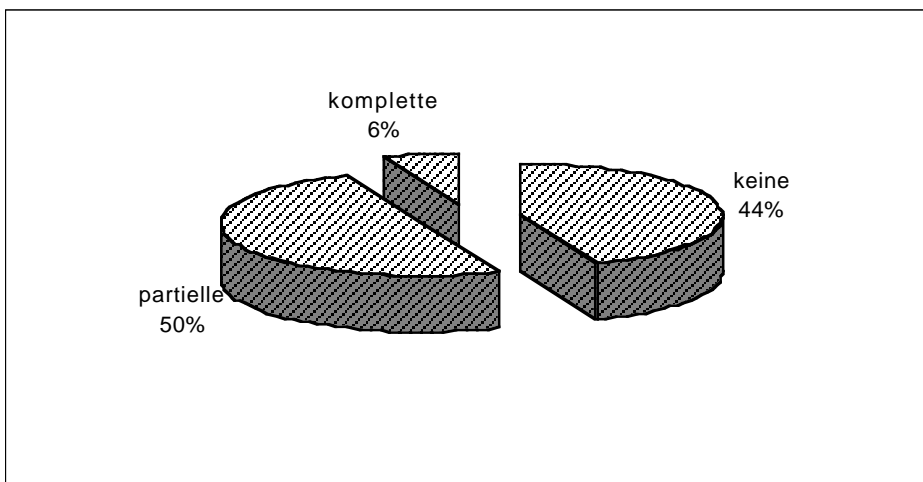


Diagramm 1: Grad der Unterminierung des fibrösen Labrums durch hyalinen Knorpel

Die Unterminierung des Faserknorpels durch hyalinen Knorpel ist insofern von eminenter Bedeutung, als daß der hyaline Knorpel sich in protonen- und T_2 -gewichteten Sequenzen signalreich zum signalarmen Knorpel darstellt, wodurch ein Riß an der Basis des Labrums vorgetäuscht werden kann. In der MR-Arthrographie ist ein derartige Fehlinterpretation nicht möglich, da die Diagnose durch den Kontrastmitteleintritt in den Riß gestellt wird. Da die MR-Arthrographie mit T_1 -gew. Sequenzen verbunden ist, stellt sich der hyaline Knorpel wie der Faserknorpel relativ signalarm dar.

Unterschiedlich waren auch die Kapselansatztypen nach Moseley. Am häufigsten ist der Ansatz der vorderen Gelenkkapsel direkt auf oder hinter dem Labrum, während der Ansatz am Skapulalahals relativ selten ist. In den axialen Schnittführungen kann man am besten die Insertion der Kapsel am medialen Skapulalahals erkennen. Auf diesen Schichten teilten wir die Kapselansatztypen ein (Diagramm 2).

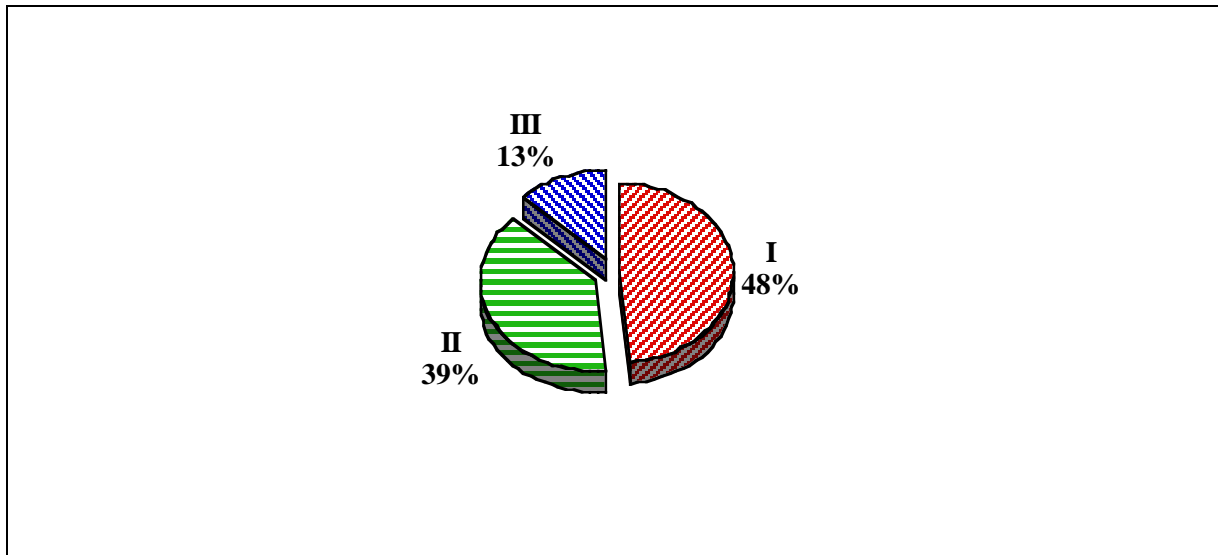


Diagramm 2: Verteilung der Häufigkeiten der Kapselansatztypen eingeteilt nach Moseley

Von den 32 Präparaten fanden sich bei 16 (48%) ein Typ I und bei 12 (39%) ein Typ II. Die am weitesten medial gelegene Kapselinsertion vom Typ III war bei 4 (13%) Präparaten vorzufinden.

Von den drei glenohumeralen Bändern stellte sich in der MRT regelmäßig nur das obere Band dar (in 26/32 Fälle), während das mittlere und untere glenohumerale Band in 11 Fällen nicht zu erkennen war.

Für die Diagnose von Labrumläsionen in der MRT sind verschiedene morphologische Kriterien beschrieben worden, die sich auf die Kontur und Struktur des Labrums beziehen (Dissektion, Ablösung, Einkerbung und Signalanhebung im Labrum). Degenerative Veränderungen im Labrum sind am besten in protonengewichteten Sequenzen zu detektieren, da diese Sequenz am sensitivsten auf vermehrten Wassergehalt im Faserknorpel reagiert. Risse, Defekte und Ablösungen des Labrums sind am besten in der MR-Arthrographie infolge ihrer hohen Orts- und Kontrastauflösung abzugrenzen (Abb. 5). Zudem steht mit dem Eintritt von Kontrastmittel ein spezifisches Kriterium zur Rupturdiagnostik zur Verfügung. Damit

besteht keine Gefahr der Verwechslung eines Risses mit hyalinem Knorpel, der unter der Basis des Labrums liegen kann. Insgesamt war die Abgrenzung zwischen Labrum und Gelenkkapsel in der MR-Arthrographie ebenfalls verbessert, da die zusätzlich eingebrachte Flüssigkeitsmenge die Gelenkkapsel vom Labrum abdrängte, wodurch die Kontur des Labrums vollständig zu erkennen war. Der Binnenkontrast war auch in der T₂-gewichteten Sequenz gut, der allerdings von der Menge an dort vorhandener Gelenkflüssigkeit abhing, die generell gering war. Bei den T₂-gew. Sequenzen war zudem die Auflösung reduziert bzw. die Bilder etwas verrauscht, wodurch die kleinen Strukturen des Labrums und der Gelenkkapsel nur eingeschränkt zu beurteilen waren.

4.1.3 Weitere Gelenkstrukturen

Der Knochen mit seinen kortikalen Begrenzungen ist am besten in hochauflösenden T₁-Sequenzen zu beurteilen, da sich das signalreiche Fettmark des Humeruskopfes und des Glenoids gut von der signalfreien kortikalen Grenzlamelle abgrenzt, was für die Beurteilung von Hill-Sachs-Läsionen und Pfannenrandfrakturen wichtig ist (Abb. 2). Hier ist kein Unterschied zwischen nativer T₁-Sequenz und der MR-Arthrographie festzustellen. Die Kontur des hyalinen Knorpels ist in der MR-Arthrographie in gutem Kontrast und hoher Auflösung dargestellt. Die protonen- und T₂-gew. Sequenzen haben demgegenüber einen reduzierten Kontrast. Gut sind die Knorpelkonturen trotz des relativ geringen Kontrastes in der T₁-gewichteten Sequenz mit 512er Matrix zu erkennen (Abb. 2b, 3a).

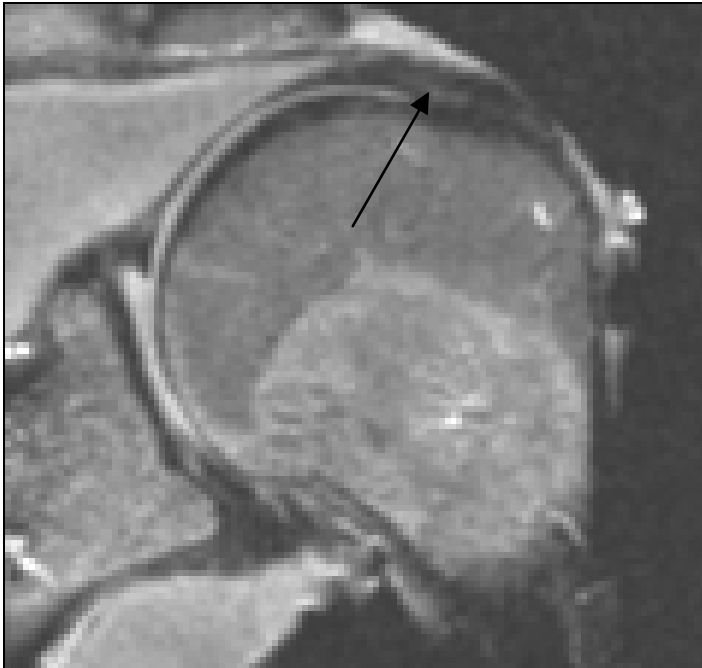


Abbildung 1a zeigt eine gesunde Supraspinatussehne im T_2 -gewichteten Bild der MRT (SE, TR=2000ms, TE=80ms). Die Sehne ist im schräg koronaren Schnitt im Längsverlauf abgebildet und erscheint homogen und signalarm (Pfeil).

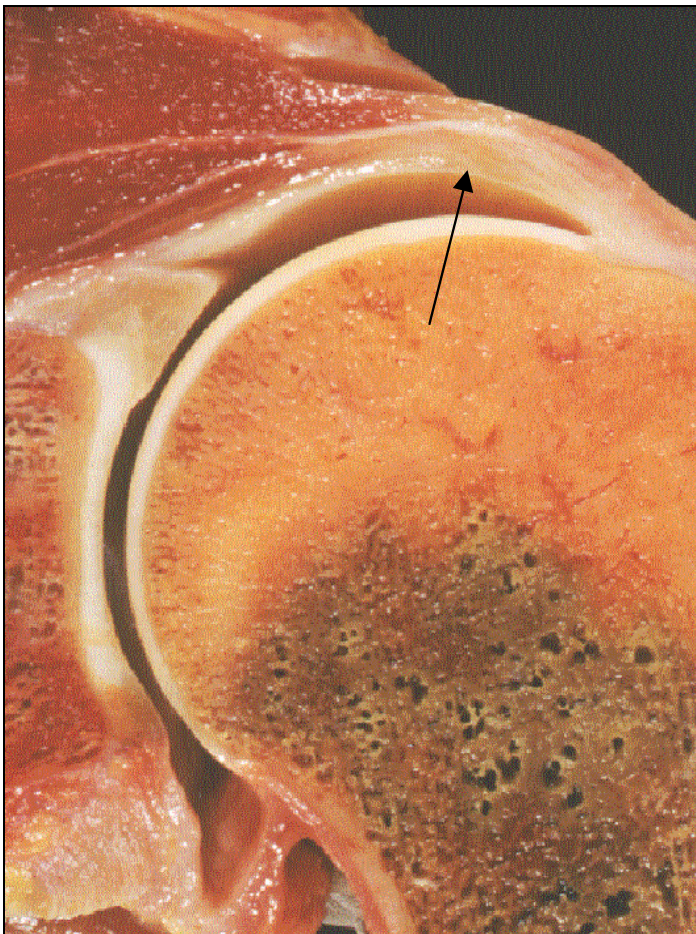


Abb. 1b: Das entsprechende Makropräparat mit der homogen strukturierten, glatt begrenzten Supraspinatussehne (Pfeil).

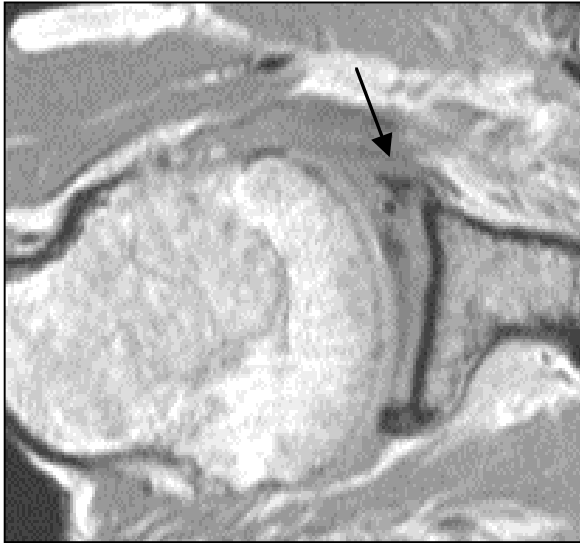


Abbildung 2a zeigt ein typisches, im axialen Schnitt der MRT dreieckig konfiguriertes vorderes Labrum (SE, TR=610ms, TE=20ms, Pfeil).

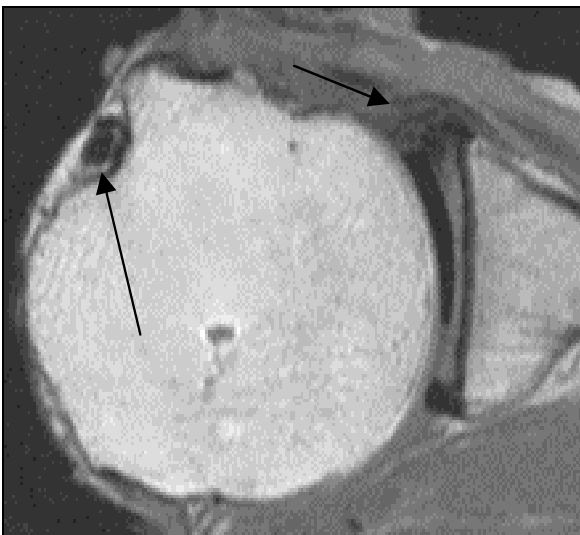


Abb. 2b:
Abgerundetes ventrokaudales Labrum (kurzer Pfeil) (SE, TR=610ms, TE=20ms). Gut zu erkennen ist die signalarme, schwarz erscheinende Bizepssehne in ihrem Sulcus (langer Pfeil).

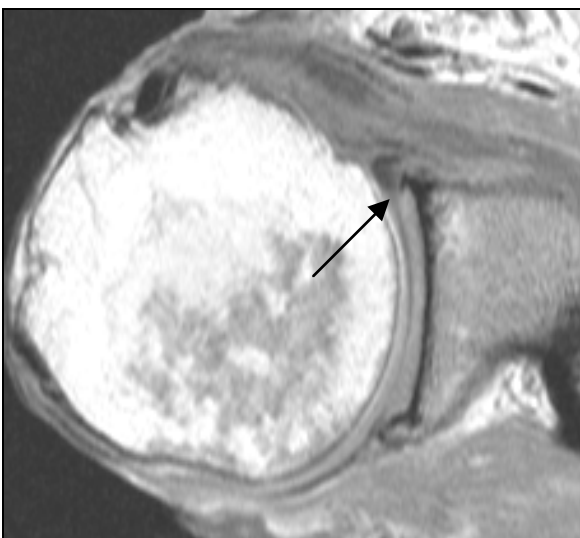
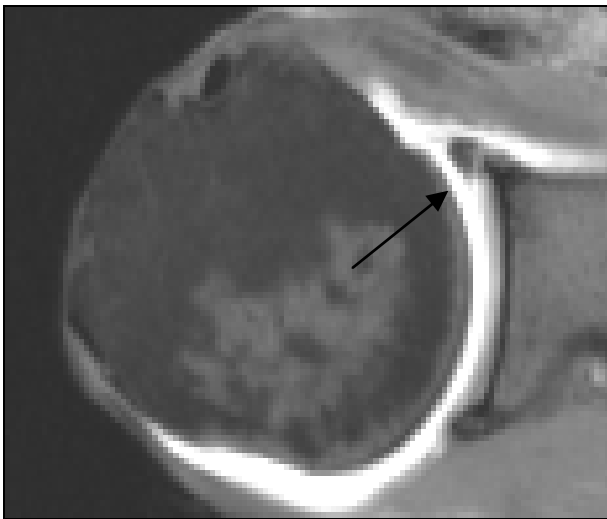
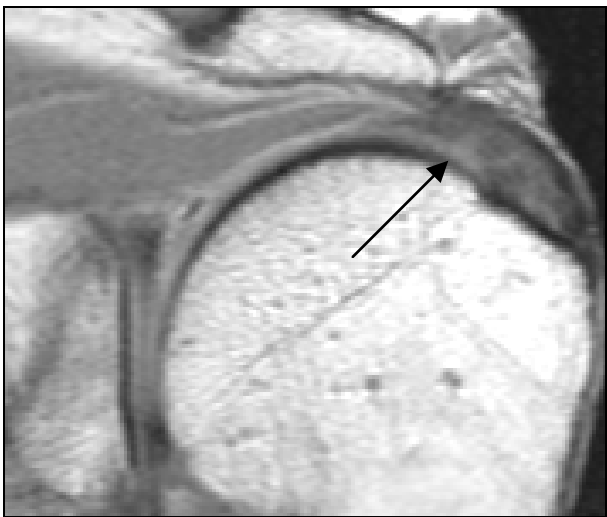


Abb. 3 a:
Ruptur des vorderen Labrums. In der T₁-gewichteten SE (TR=610ms, TE=20ms) ist der basisnahe Abriß des fibrösen Labrum zu erkennen (Pfeil), die Abgrenzung zu den anliegenden Kapselstrukturen ist aber erschwert.

**Abb. 3b:**

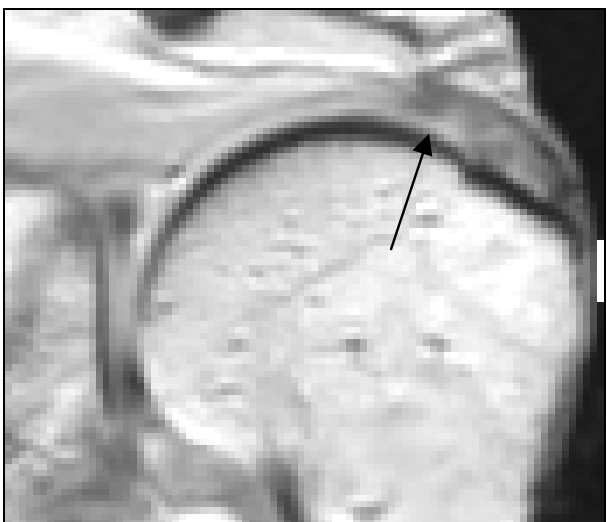
In der MR-Arthrographie (SE mit Fettsuppression, TR=650ms, TE=15ms) wird die Gelenkkapsel durch die eingebrachte Flüssigkeitsmenge von 20cm³ vom Labrum abgedrängt, so daß das Labrum besser abzugrenzen ist. Zudem dringt das Kontrastmittel in den Riß ein und grenzt ihn damit eindeutig ab (Pfeil).



Die Abbildungen 4 a-f zeigen eine partielle Ruptur der Rotatorenmanschette in verschiedenen MRT-Sequenzen.

Abb. 4a:

In der T₁-gewichteten SE (TR=610ms, TE=20ms) ist die ödematöse Verquellung der Supraspinatussehne zu erkennen, während der kleine gelenkseitige Einriß nicht abzugrenzen ist (Pfeil).

**Abb. 4b:**

gleiche Schnittebene in der Protonen-Wichtung.

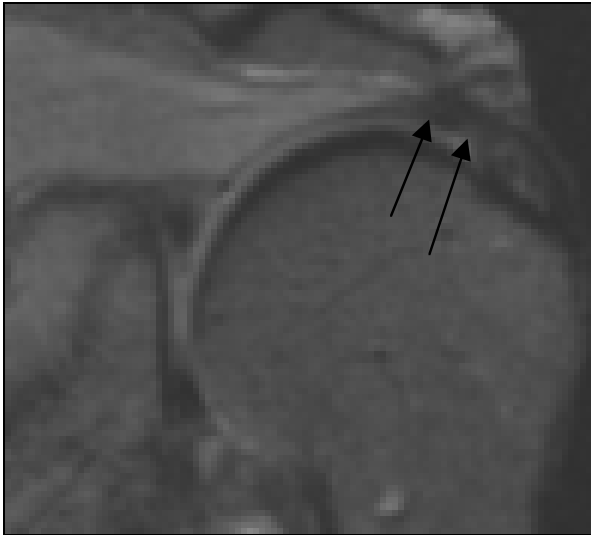
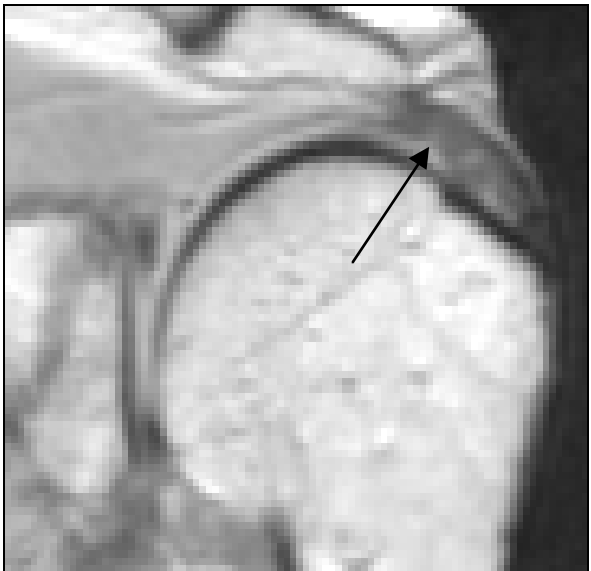


Abbildung 4c zeigt die T_2 -gewichtete SE (TR=2000, TE=80ms). Der Einriß ist eben nachweisbar, die Degeneration der Sehne ist gut abzugrenzen (Pfeile).



In den Turbo-SE-Sequenzen Abbildungen 4 d-e ist der kleine Einriß etwas schlechter abzugrenzen als in den Standard-SE-Techniken.

Abb. 4d:

Protonengew. SE (TR=2700ms, TE=19ns)

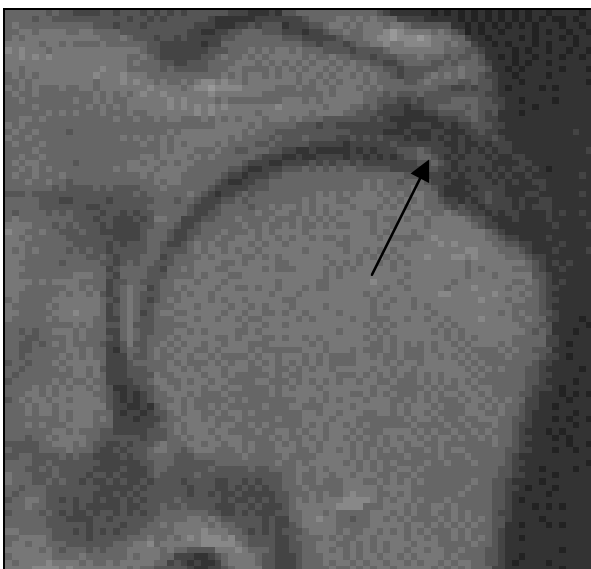


Abb. 4e:

T_2 -gew. Turbo-SE (TR=2700ms, TE=93ns)

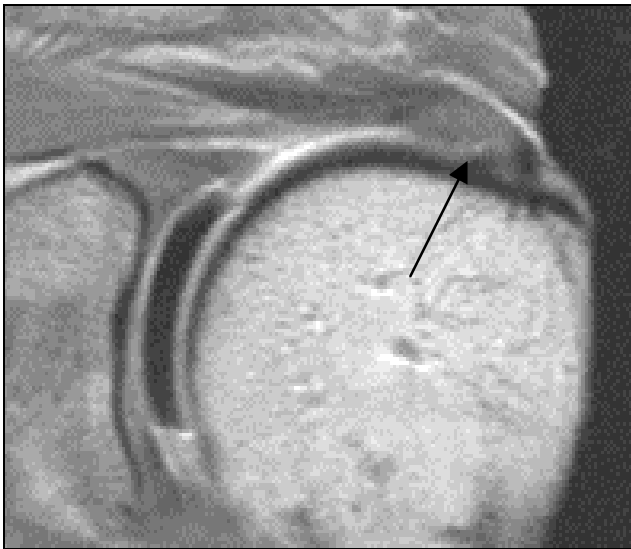
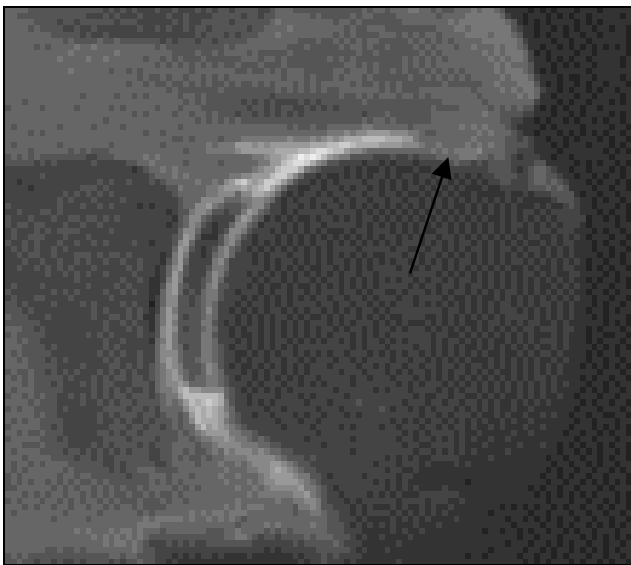
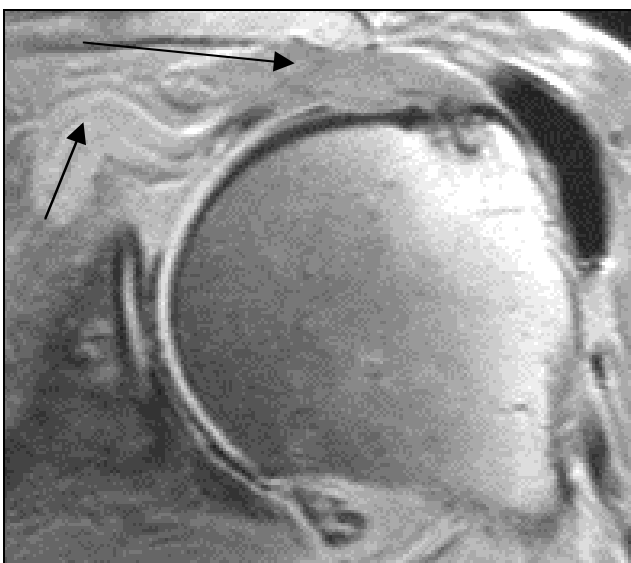


Abbildung 4f zeigt die MR-Arthrographie mit hochauflösender SE-Sequenz (TR=610ms, TE=20ms, 512er Matrix), hier ist der kleine Einriß infolge Kontrastmittleintritts in die Sehne am besten nachweisbar (Pfeil).



In **Abbildung 4g** wird durch die zusätzliche Fettsuppression der Binnenkontrast noch weiter erhöht. Der partielle Riß ist kontrastreicher dargestellt (Pfeil).



Die Abbildungen 5 a-g zeigen eine komplette Ruptur der Supraspinatussehne in verschiedenen Sequenzen der MRT.

Abb. 5a: Im T₁-gewichteten SE-Bild (TR=610ms, TE=20ms) ist die zurückgezogene Sehne am Muskelbauch zu erkennen (kurzer Pfeil), der Binnenkontrast ist aber reduziert. In den konventionellen SE-Sequenzen ist der Defekt in der Supraspinatussehne gut abzugrenzen. Es ist Gelenkflüssigkeit in die Bursa subacromialis eingetreten (langer Pfeil).

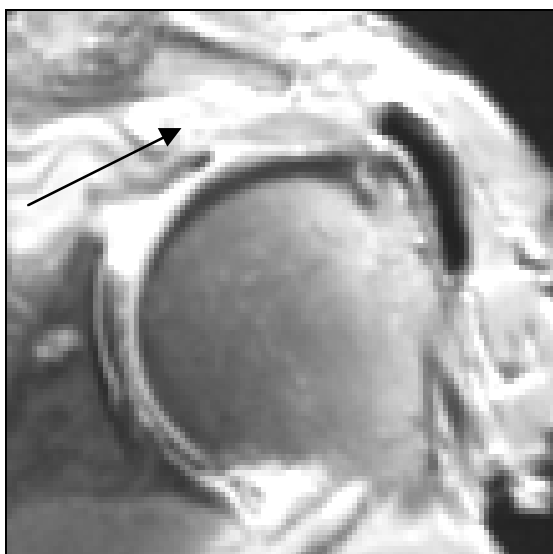


Abb 5b: Protonengewichtete SE
(TR=2000ms, TE=20ms)

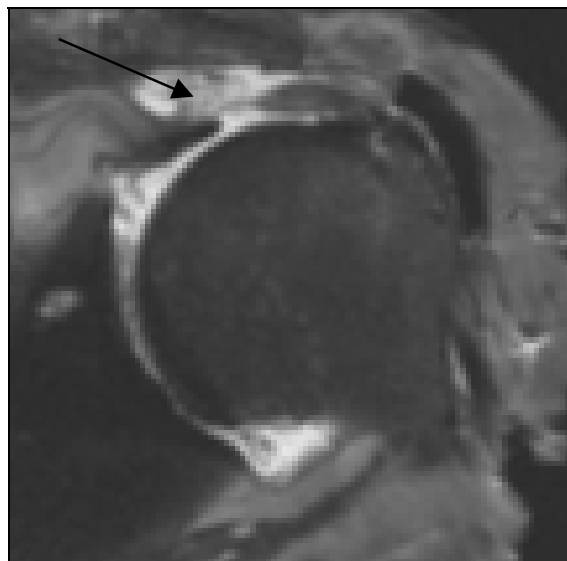


Abb 5c: T₂-gewichtete SE
(TR=2000, TE=80ms)

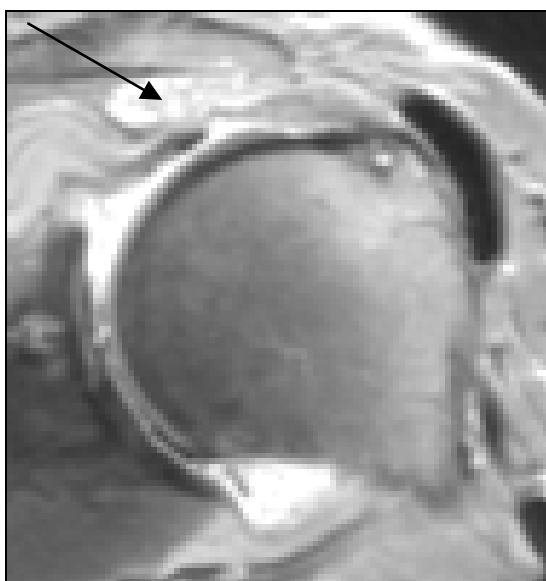


Abb. 5d: Protonengewichtete Turbo-SE
(TR=2700ms, TE=19ms)

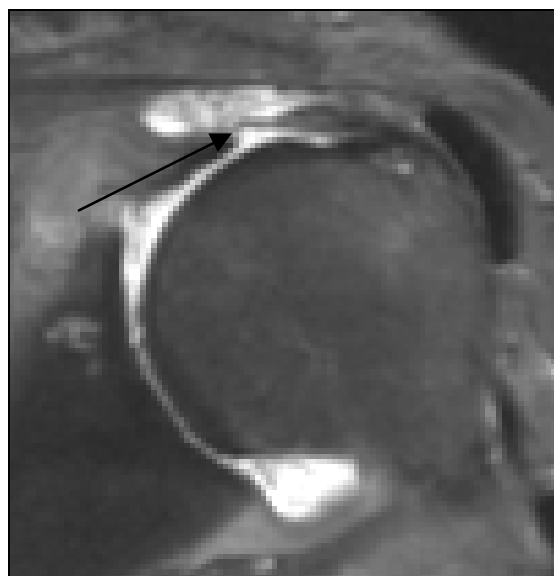
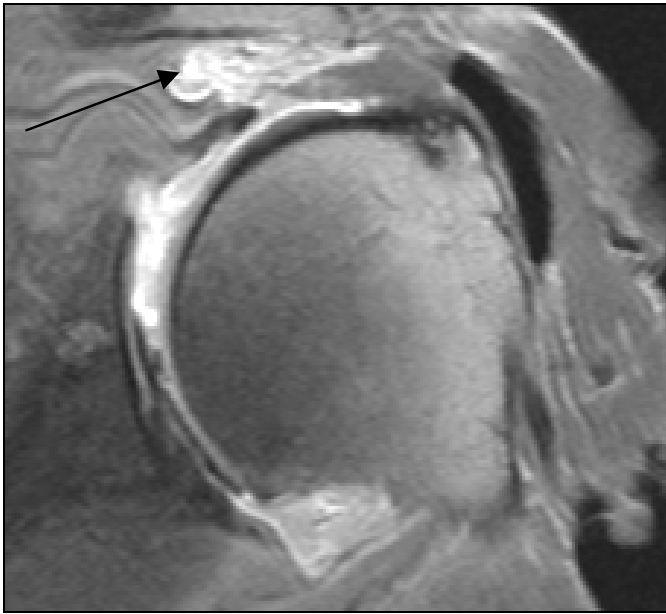
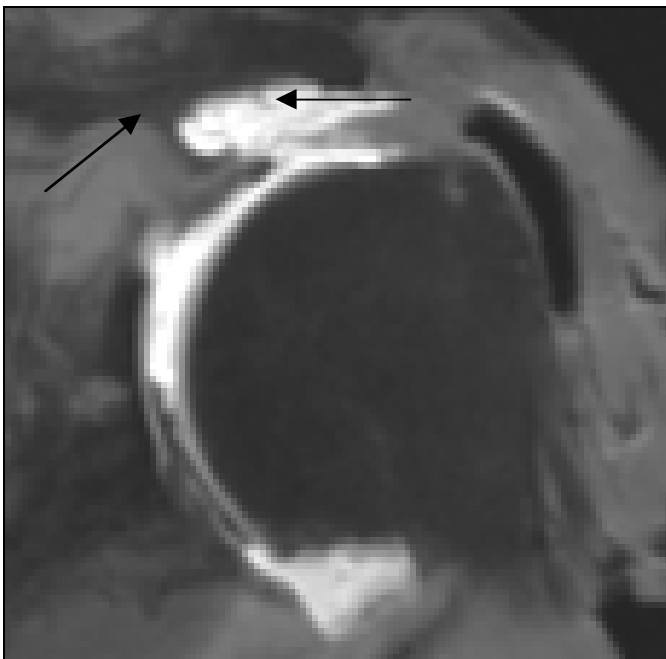


Abb. 5e: T₂-gewichtete Turbo-SE
(TR=2700ms, TE=93ms)

**Abb 5f:**

Am kontrastreichsten ist der Defekt in der MR-Arthrographie dargestellt (SE, TR=610ms, TE=15ms, 512er Matrix; Pfeil).

**Abb. 5g:**

Durch die zusätzliche Fett-suppression ist eine eindeutige Unterscheidung zwischen sub-akromialen Fettgewebe und Kontrastmitteleintritt möglich (Pfeile).

4.2 Vergleich zwischen nativen MR-Sequenzen und der MR-Arthrographie anhand von Werteskores: - Darstellung normaler anatomischer Strukturen -

Kontrast und Auflösung von 7 Sequenzen vor (natives MR) und 3 Sequenzen nach intraartikulärer Kontrastmittelinjektion (MR-Arthrographie) wurden für 13 verschiedene Strukturen und Pathologien des Schultergelenkes untersucht. Beurteilt wurden Gelenkbinnenraum, vorderes und hinteres Labrum glenoidale, Knorpel und Knochen, anteriorer und posteriorer Kapselansatz, subacromialer Fettsaum, sowie Sehnen und Muskeln der Rotatorenmanschette. Die Durchschnittsnoten für die Bewertung jeder Sequenz mit ihren Streuungen sind in Form von Säulendiagrammen angegeben. Die p-Werte für die Irrtumswahrscheinlichkeit ergeben sich aus dem Vorzeichentest für paarige Stichproben. Die Werte in Klammern geben die p-Werte aus dem Wilcoxon-Test wieder.

4.2.1 Abgrenzung des Gelenkbinnenraumes

Die Abbildung 6 zeigt den Kontrast für den Gelenkbinnenraumes in den unterschiedlichen Sequenzen.

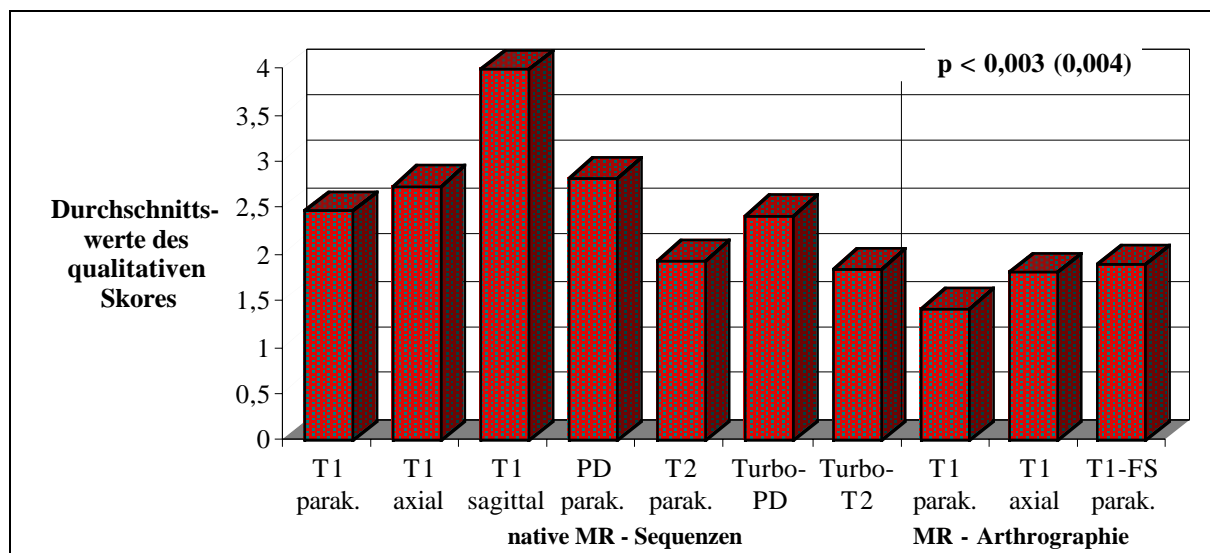


Abb. 6: Sequenzvergleich in der Darstellung des Gelenkbinnenraumes

Am besten ist das Gelenkkavum in den beiden T_2 -gewichteten Sequenzen kontrastiert. In diesen Techniken erscheint die Gelenkflüssigkeit auch ohne intraartikuläre Kontrastmittelgabe derart signalreich, daß auch von einem Pseudoarthrographie-Effekt gesprochen wird. Die Orientierung der Sequenzen spielt bei der Darstellung des

Gelenkbinnenraumes nur eine untergeordnete Rolle. Noch besser wird der Gelenkbinnenraum in der MR-Arthrographie dargestellt, da zu dem guten Kontrast auch noch die hohe Auflösung der T₁-gewichteten SE-Sequenzen mit 512er Matrix kommt. Auch hierbei ist die Ebenenwahl nicht entscheidend. Insgesamt zeigt die MR-Arthrographie signifikant bessere Durchschnittsnoten.

4.2.2 Darstellung des Labrum glenoidale anterius mit verschiedenen Techniken

In der Darstellung des vorderen Labrums sind axialen Sequenzen überlegen und erreichen deutlich bessere Durchschnittswerte als die übrigen Sequenzen. Innerhalb der Sequenzen mit parakoronarer Schnittführung zeigt sich kein signifikanter Unterschied.

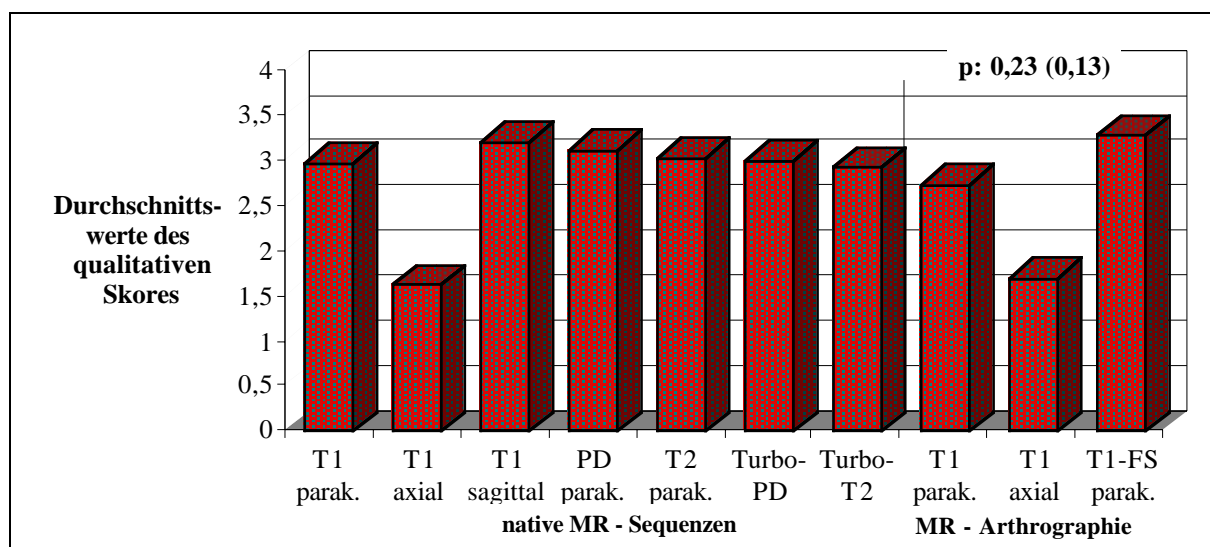


Abb. 7: Sequenzvergleich in der Abgrenzung des Labrum anterius

Ein signifikanter Unterschied in der Darstellbarkeit zwischen den nativen und arthrographischen Sequenzen mit axialer Ausrichtung besteht nicht. Der Durchschnittswert der nativen Sequenz betrug 1,6 versus 1,7 in der MR-Arthrographie.

4.2.3 Darstellung des hinteren Labrum glenoidale mit verschiedenen Techniken

Wie auch beim vorderen Labrum kann das Labrum glenoidale posterius durch die axialen Sequenzen am besten dargestellt werden (Abb. 8). Im Vergleich der axialen Schichten besteht zwischen der nativen Sequenz (1,59) und der MR-Arthrographie (1,94) eine bessere Bewertung für die native Technik. Der immer noch relativ schlechte Wert für die Abgrenzung des hinteren Labrums kann in einer schlechten Verteilung des Kontrastmittels innerhalb der

Gelenkhöhle liegen, da sich das Gd-DTPA in dorsaler Lage des Präparates vor allem im vorderen Anteil des Gelenkcavums ansammelt.

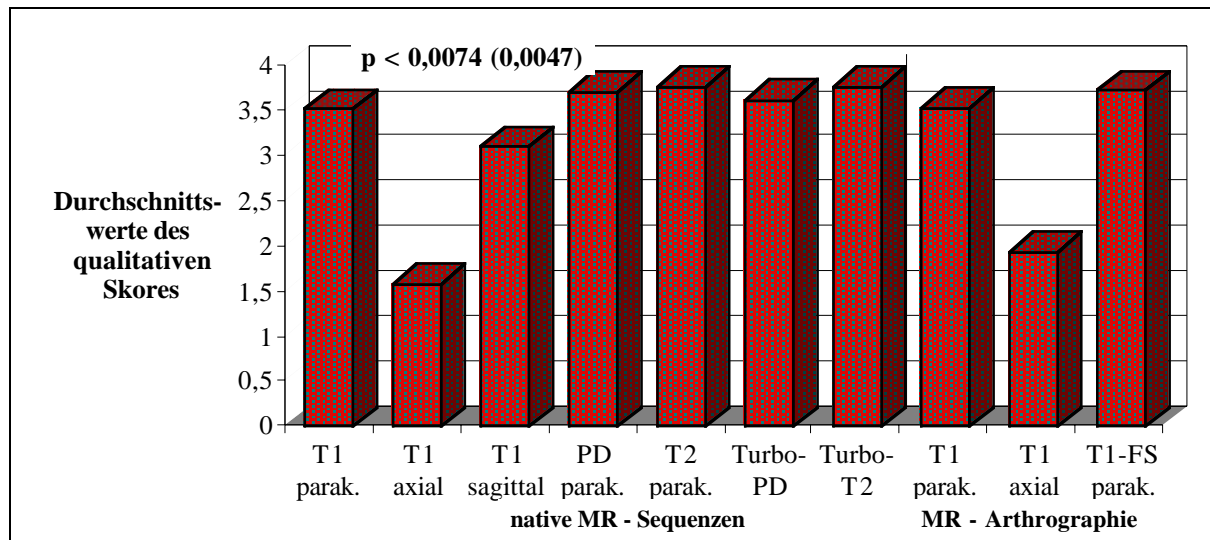


Abb. 8: Sequenzvergleich in der Darstellung des Labrum posterius

Innerhalb der anderen Sequenzen finden sich keine wesentlichen Unterschiede. Auch die Turbo-SE-Sequenzen schneiden bei der Darstellung beider Labra glenoidalia nicht schlechter ab als die Standard-SE-Sequenzen in Protonendichte (PD)- und T_2 -Wichtung.

4.2.4 Abgrenzung der Knorpelkontur

In der Abgrenzung der Knorpelkontur zeigten die arthrographischen Sequenzen durchweg die besseren Bewertungen (Abb. 9). Dies ist wiederum durch die Kombination von gutem Kontrast und hoher Ortsauflösung bedingt, wodurch die Oberflächenbeschaffenheit optimal wiedergegeben wird.

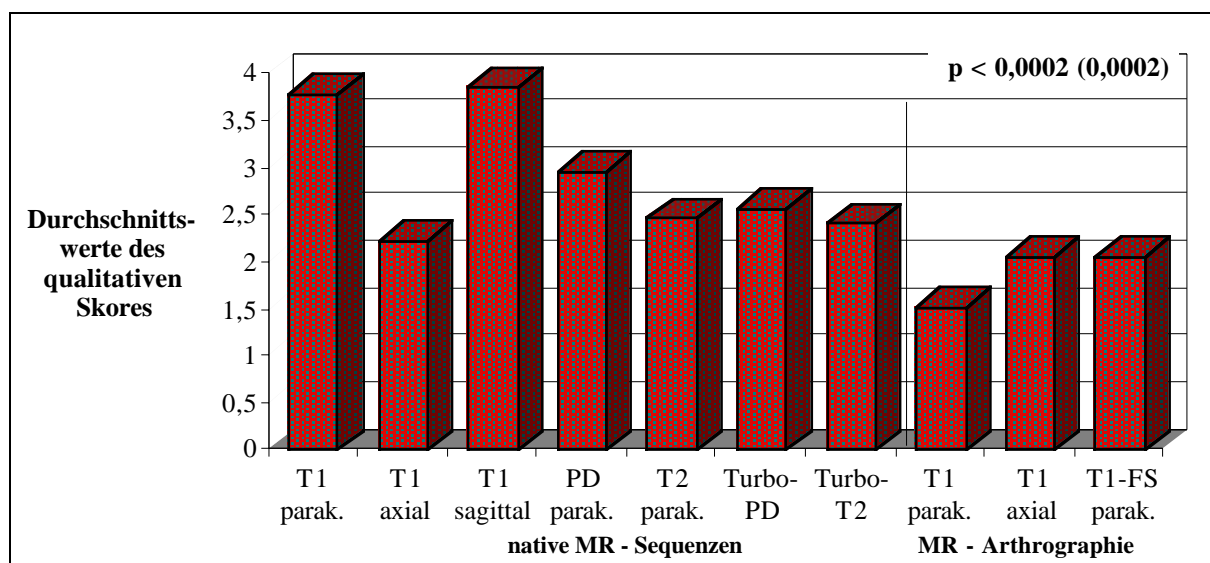


Abb. 9: Abgrenzung der Knorpelkontur

Bei den nativen Sequenzen ist die axiale Ebene am besten für die Darstellung der Knorpelkontur geeignet. Auch gute Ergebnisse lieferten die T_2 -gewichteten Sequenzen, da diese durch den Pseudoarthrographie-Effekt bei Vorhandensein von Flüssigkeit im Gelenkspalt die Oberflächenkontur kontrastreich darstellen. Allerdings ist die Auflösung im Vergleich zur MR-Arthrographie reduziert.

4.2.5 Kontrast zwischen Knorpel und Knochen in verschiedenen Sequenzen

Die Kontrastierung von Knorpel gegen Knochen war signifikant unterschiedlich zwischen den nativen Techniken und der MR-Arthrographie (Abb. 10).

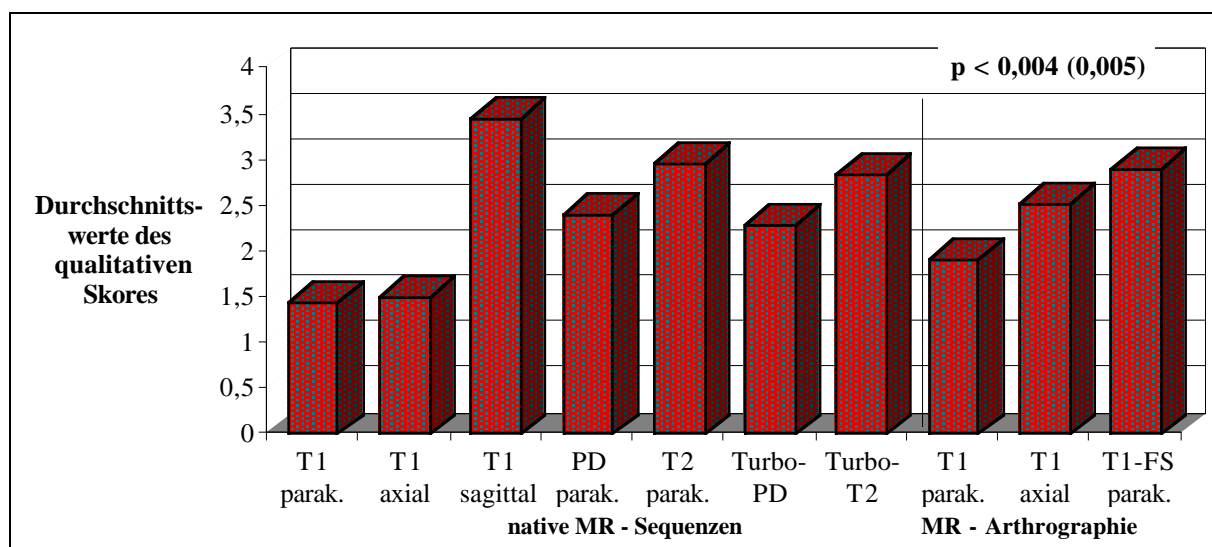


Abb. 10: Kontrast zwischen Knorpel und Knochen

Die parakoronare Ebene zeigte den Kontrast hierbei am deutlichsten, wobei im Vergleich zu den axialen Schnittführungen keine signifikanten Unterschiede bestanden. In den nativen Sequenzen wurde bei der T_1 -gewichteten parakoronaren SE-Sequenz ein Durchschnittswert von 1,44 und bei der entsprechenden axialen Sequenz von 1,5 ermittelt. In der MR-Arthrographie lagen die Werte mit 1,9 für die parakoronare Sequenz und 2,5 für die axiale Schicht etwas niedriger. Eine Erklärung ist, daß das Kontrastmittel in der MR-Arthrographie nur den hyalinen Knorpel zum Binnenraum sehr kontrastreich abgrenzt, den Knochen aber nicht erreicht, so daß der Kontrast zwischen Knochen und hyalinem Knorpel nicht so gut ausgesteuert werden wie in den nativen T_1 -gewichteten SE-Sequenzen.

4.2.6 Kontrast zwischen Knorpel und Gelenkflüssigkeit in verschiedenen Sequenzen

Bei der Kontrastierung des Knorpels gegenüber der Gelenkflüssigkeit überragten die arthrographischen Sequenzen (Abb. 11). Innerhalb dieser Sequenzen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in verschiedenen Schichtführungen.

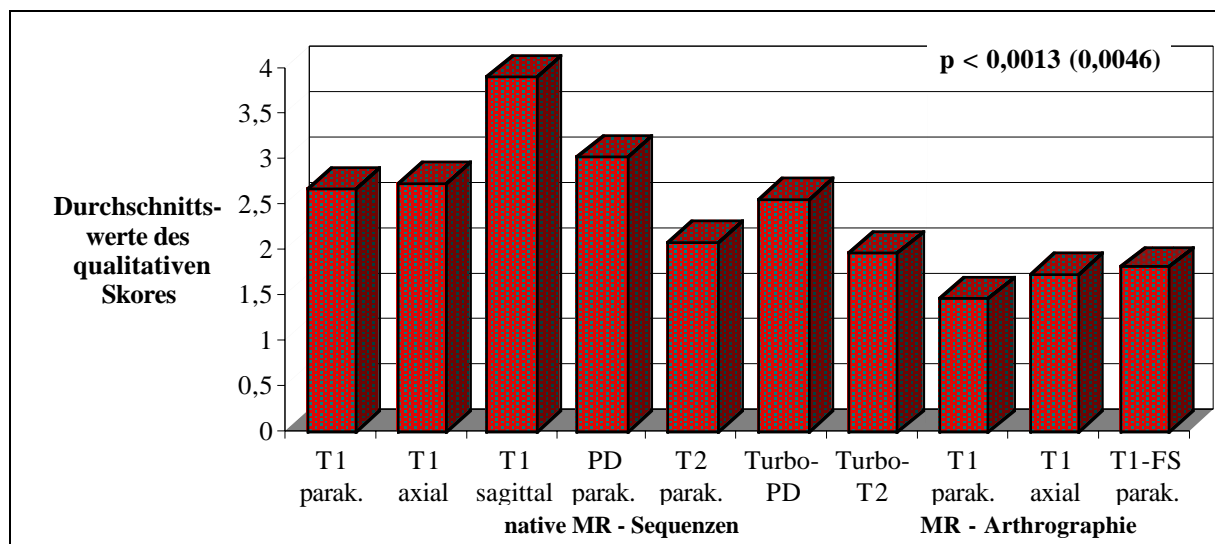


Abb. 11: Kontrast zwischen Knorpel und Gelenkflüssigkeit

Bei den nativen Sequenzen waren die T_2 -gewichteten Sequenzen den anderen bei der Abgrenzung überlegen. Dies ist durch das hohe Signal der intraartikulären Flüssigkeit in diesen Sequenzen zu erklären. Zwischen der axialen und parakoronaren Schichtführung waren keine signifikanten Unterschiede erkennbar. Die Turbo-Sequenzen zeigten gleiche oder bessere Durchschnittswerte im Vergleich zu den klassischen PD- und T_2 -gewichteten SE-Sequenzen.

4.2.7 Abgrenzung des ventralen Kapselansatzes mit unterschiedlichen Sequenzen

Der vordere Kapselansatz war am besten in den axialen Sequenzen zu erkennen, wobei der Ansatz in der MR-Arthrographie mit 1,68 signifikant besser abzugrenzen war als in der nativen T_1 -axialen Sequenz mit 2,22 (Abb. 12).

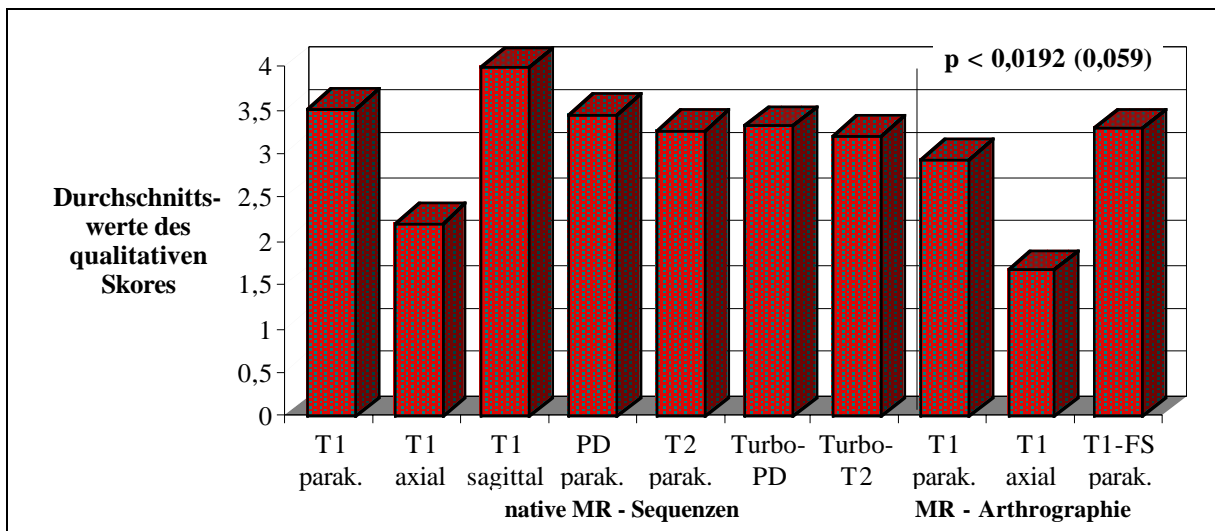


Abb. 12: Darstellung des ventralen Kapselansatzes

Die parakoronaren und sagittalen Schichtführungen sind zur Darstellung und Beurteilung des vorderen Kapselansatzes nicht zu verwenden, da hier Durchschnittswerte über 3,0 zu finden waren.

4.2.8 Abgrenzung des hinteren Kapselansatzes in verschiedenen Sequenzen

Bei der Darstellung des dorsalen Kapselansatzes spielte das Vorhandensein von Kontrastmittel keine Rolle (Abb. 13). Wie auch beim vorderen Kapselansatz waren die axialen Schnittebenen den anderen weit überlegen.

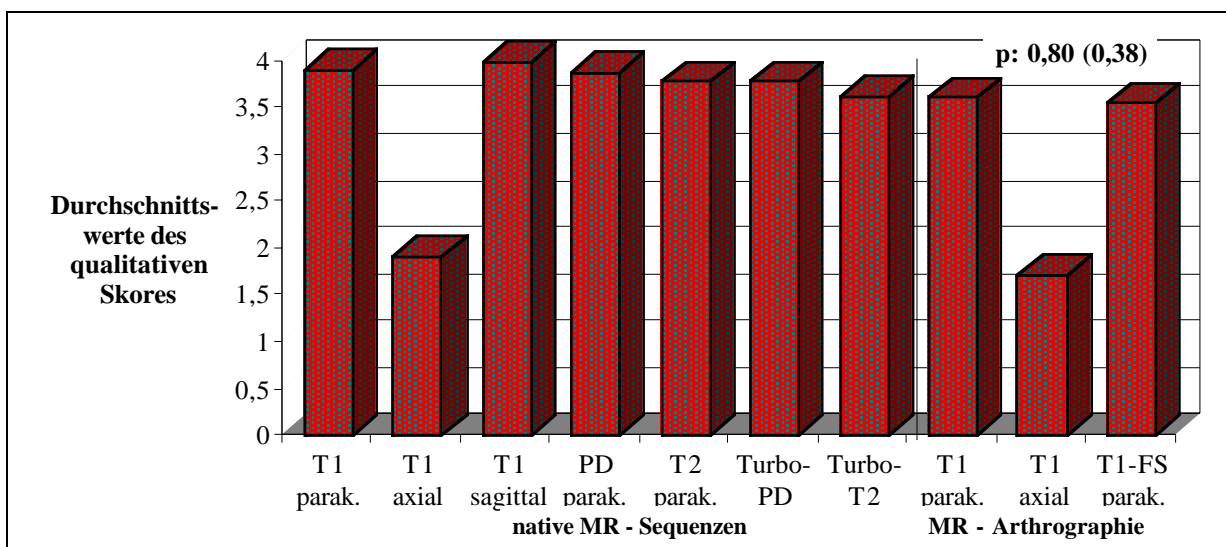


Abb. 13: Darstellung des dorsalen Kapselansatzes

Die MR-Arthrographie in axialer Orientierung war mit einem Durchschnittswert von 1,71 nur geringfügig besser als die korrespondierende native Sequenzen mit 1,91. Alle anderen Sequenzen spielten bei der Darstellung des dorsalen Kapselansatzes keine Rolle, wobei hier Durchschnittswerte von 3,5 bis 4 erreicht wurden. Wie auch bei der Darstellung des ventralen Kapselansatzes gelang der Nachweis in der sagittalen Schnittebene nicht.

4.2.9 Kontrastierung des subakromialen Fettsaumes in unterschiedlichen Techniken

In der Kontrastierung des subakromialen Fettsaumes bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den nativen und den arthrographischen Sequenzen (Abb. 14). Der Grund liegt darin, daß das intraartikuläre Kontrastmittel den subakromialen Raum bei intakter Rotatorenmanschette nicht erreicht und somit der arthrographische Effekt für die Abgrenzung des subakromialen Fettstreifens keine Rolle spielt.

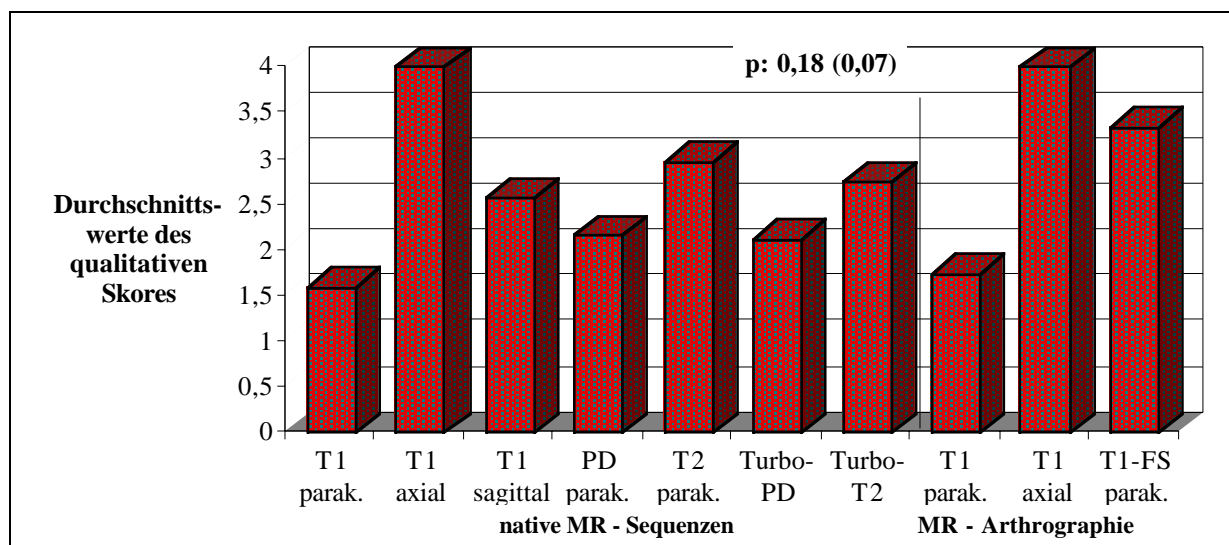


Abb. 14: Darstellung des subakromialen Fettsaumes

Die parakoronaren Sequenzen schnitten eindeutig am besten ab, da hier der Fettsaum in seinem Verlauf entlang der Oberfläche der Supraspinatussehne deutlich zu erkennen ist. Die beste Sequenz war die T₁-gewichtete native SE-Sequenz mit einem Durchschnittswert von 1,59 und die T₁-gewichtete arthrographische Sequenz mit einem Wert von 1,74.

4.2.10 Abgrenzung der Sehnen der Rotatorenmanschette mit verschiedenen Sequenzen

In der Darstellung der Sehne des M. supraspinatus überragten die Sequenzen in parakoronarer Schnittführung (Abb. 15). Die Sehne war auf den axialen Darstellungen nur sehr schlecht zur erkennen, was unabhängig von der Applikation von Gd-DTPA war.

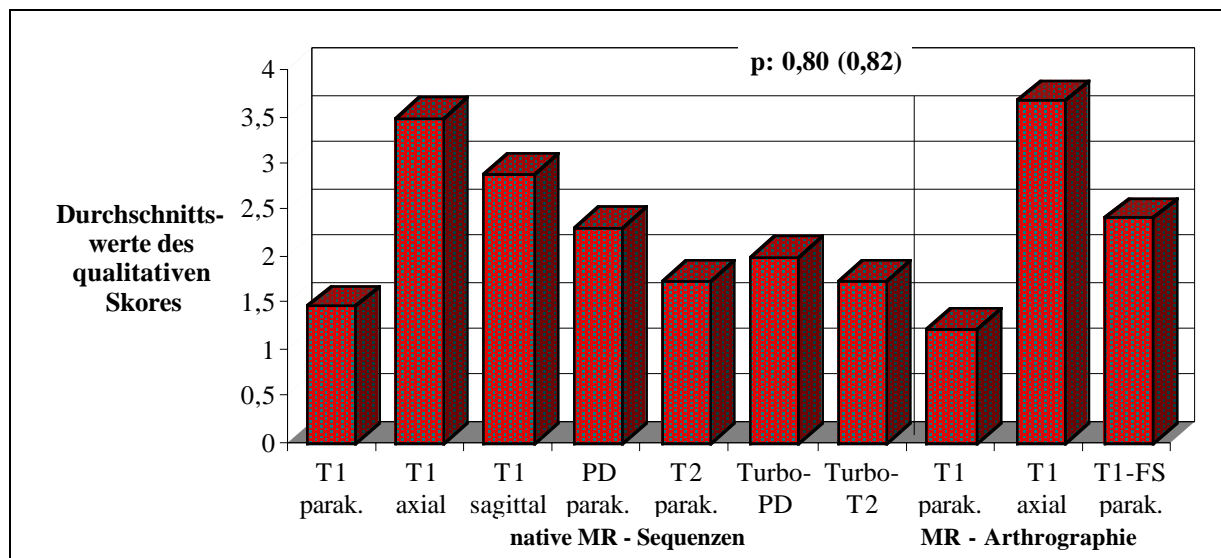


Abb. 15: Darstellung der Sehne des M. supraspinatus

Die Darstellung der Sehne war mit 1,23 in der parakoronaren Arthrographiesequenz und mit 1,47 in der nativen parakoronaren Sequenz exzellent, da hier die Schnittführung exakt parallel zur Verlaufsrichtung der Sehne liegt. Weiterhin waren die Turbo-Sequenzen ebenso gut wie die klassischen T_2 -gewichteten Sequenzen (1,75 versus 1,74). In den PD-gewichteten Sequenzen war die Darstellung in der Turbo-Sequenz sogar besser als in der Standardtechnik (2,0 gegenüber 2,31).

Die Abbildung 16 zeigt die Durchschnittswerte für die Darstellung der Sehne des M. infraspinatus. Hierbei schnitten die axialen Sequenzen am besten ab, wobei die native Sequenz signifikant besser war als die MR-Arthrographie in gleicher Schnittführung (2,38 versus 2,65).

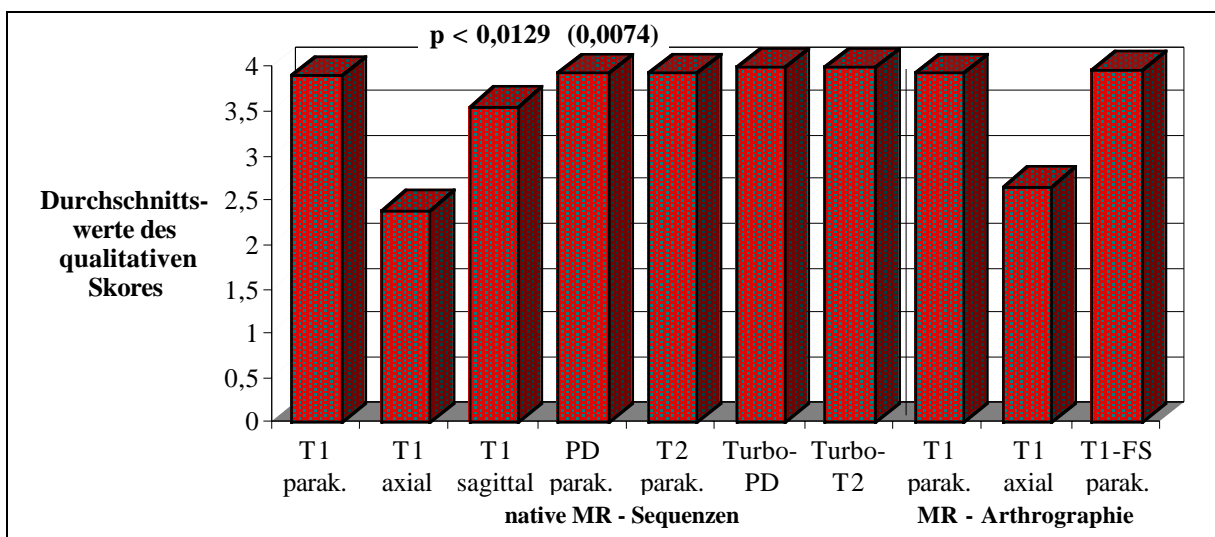


Abb. 16: Abgrenzung der Sehne des M. infraspinatus

Die sagittalen und parakoronaren Einstellungen waren mit Durchschnittswerten von $> 3,9$ ohne Aussagekraft über die Darstellung des Infraspinatussehne.

Bei der Bewertung der Sehne des M. subscapularis waren wie bei der Infraspinatussehne die axialen Schnittführungen allen anderen Sequenzen deutlich überlegen (Abb. 17).

Bei grenzwertigem Signifikanzniveau konnte die native T₁-gewichtete axiale Sequenz die Subscapularissehne besser darstellen als die entsprechende axiale arthrographische Sequenz (Durchschnittswert von 2,0 gegenüber 2,23).

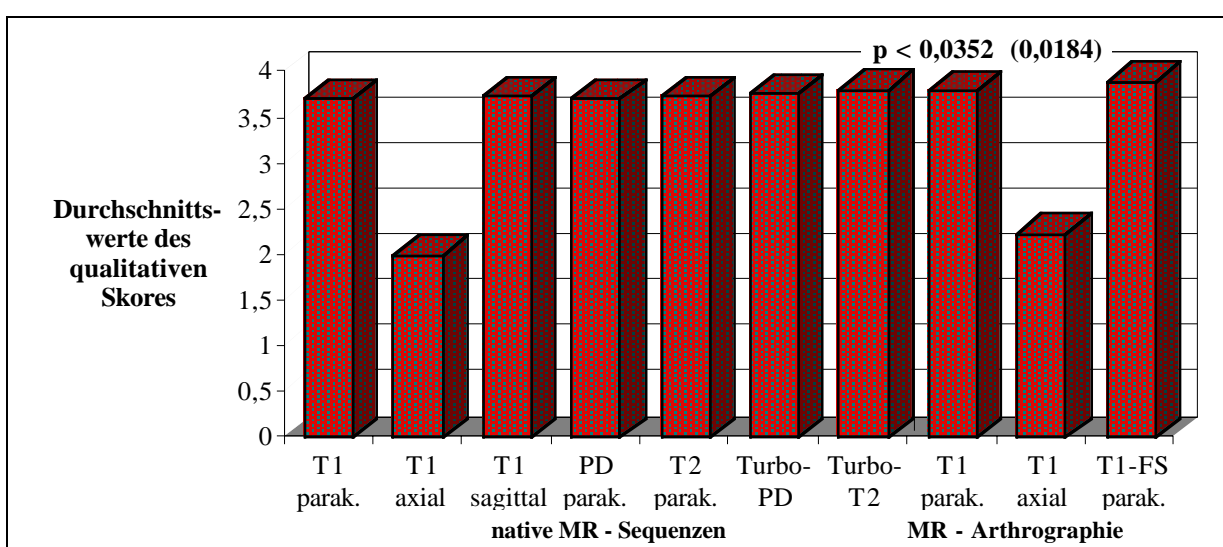


Abb. 17: Darstellung der Sehne des M. subscapularis

Die etwas schlechtere Bewertung der Subscapularissehne in der MR-Arthrographie ist vermutlich mit dem ähnlichen Signalverhalten der Sehne und des der Sehne anliegenden Kontrastmittels zu erklären. Alle anderen Sequenzen waren mit Durchschnittswerten von $>3,6$ ohne Aussagekraft für die Darstellung der Subscapularissehne und sind daher nicht für die Bildgebung der Sehne geeignet

4.2.11 Darstellung der Sehne des M. biceps brachii mit unterschiedlichen Techniken

Wie in der Abbildung 18 zu erkennen ist, besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den nativen und den arthrographischen Sequenzen in der Darstellung der Bizepssehne. Völlig ungeeignet war die T_1 -gewichtete sagittale Sequenz, da der Sehnenverlauf nicht in der Schnittebene lag.

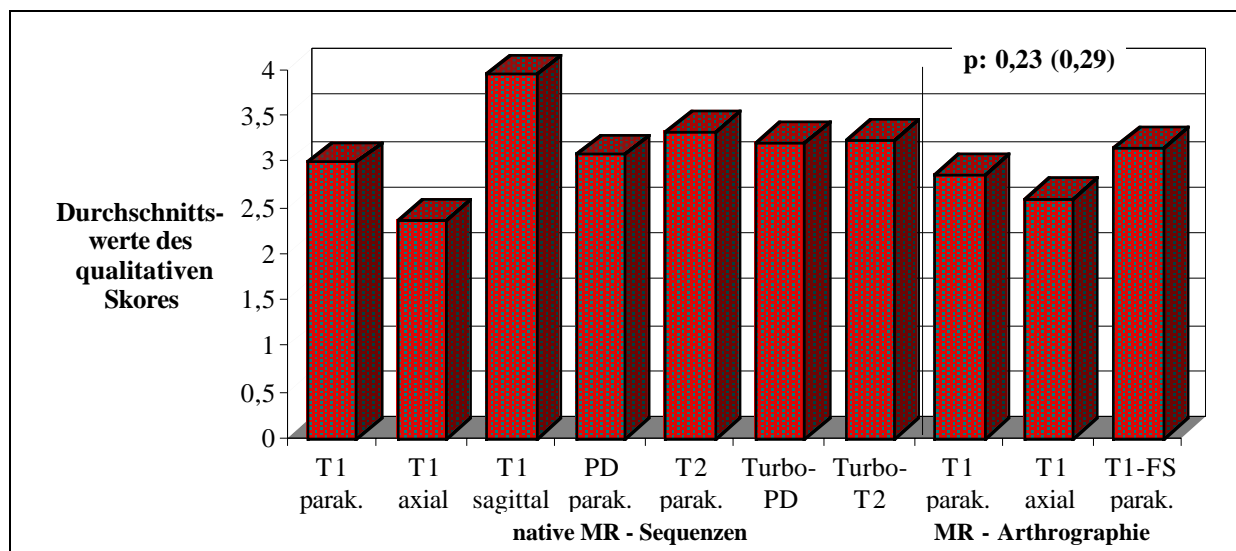


Abb. 18: Darstellung der Sehne des M. biceps brachii

Die besten Durchschnittswerte zeigten sich in den axialen Sequenzen, in denen der Sulcus mit der Bizepssehne deutlich zur Darstellung kommt (2,38 in der nativen Sequenz und 2,6 in der MR-Arthrographie). Der horizontale, intraartikuläre Verlauf der langen Bizepssehne konnte ausreichend in den parakoronaren Schnitten beurteilt werden.

4.2.12 Darstellung der einzelnen Strukturelemente des vorderen Kapselapparates in verschiedenen Sequenzen

Für die Beurteilung des vorderen Kapselapparates wurden die Einzelwertungen für das Labrum glenoidale anterius, den ventralen Kapselansatz, die Subscapularissehne, die Knorpelkontur und die Darstellung des Gelenkbinnenraumes zusammengefaßt (Abb. 19). Hierbei fand sich in der MR-Arthrographie ein tendentiell besserer Durchschnittswert mit 1,96 in der axialen Ebene als in der nativen axialen Ebene mit 2,15.

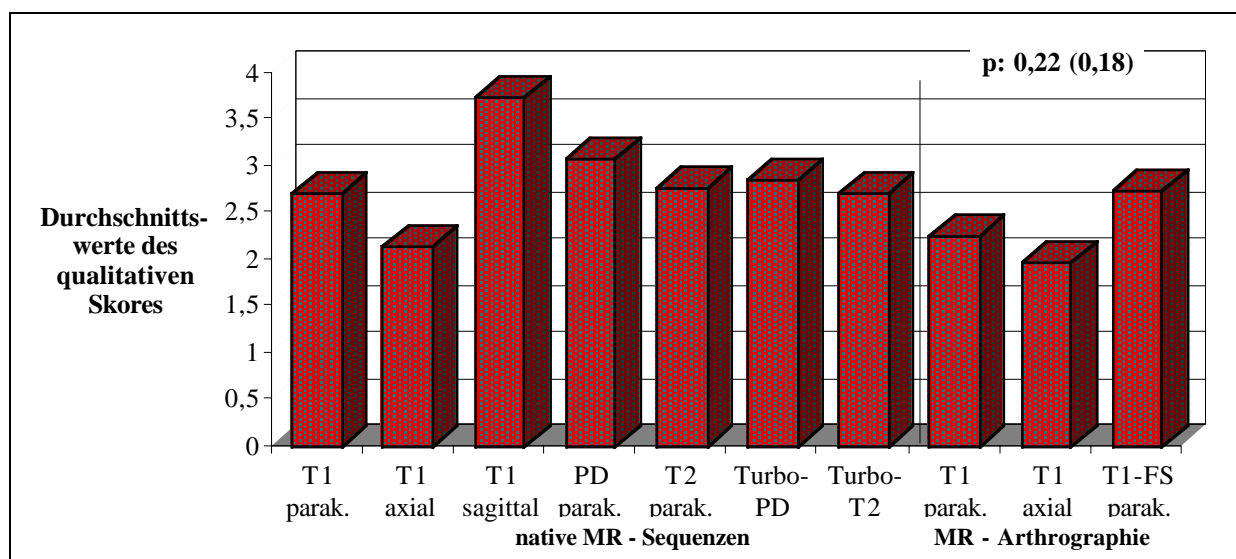
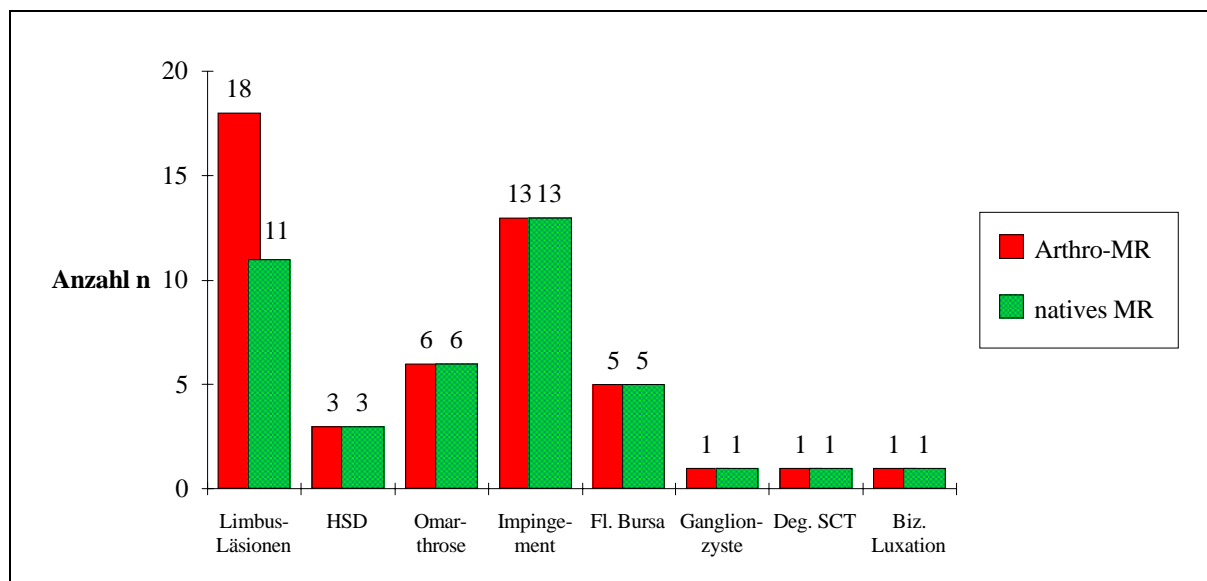


Abb. 19: Abgrenzung der am vorderen Kapselapparat beteiligten Strukturen

Für die Darstellung des anterioren Kapselapparates ist die axiale Schnittführung optimal. In der parakoronaren Schnittführung war die MR-Arthrographie mit einem Durchschnittswert von 2,25 noch am besten und war in den nativen parakoronaren Sequenzen mit jeweils 2,71 für T₁- und T₂-gewichtete SE- und Turbo-SE-Sequenzen etwas niedriger.

4.3 Darstellung von Gelenkpathologien in MRT, Arthroskopie und Histologie

Unter den insgesamt 32 Gelenkpräparaten wurden in der Kernspintomographie folgende Erkrankungen gesehen: 18 Läsionen des vorderen oder hinteren Limbus, die wiederum aus Degenerationen, partiellen und kompletten Defekten oder Ablösungen des Labrums bestanden, 3 Hill-Sachs-Defekte, 6 Omarthrosen, 13 Impingement-Syndrome, fünf Gelenke mit Flüssigkeit im subakromialen Schleimbeutel, eine Ganglionzyste, eine Degeneration der Subscapularissehne und eine Bizepssehnenluxation.



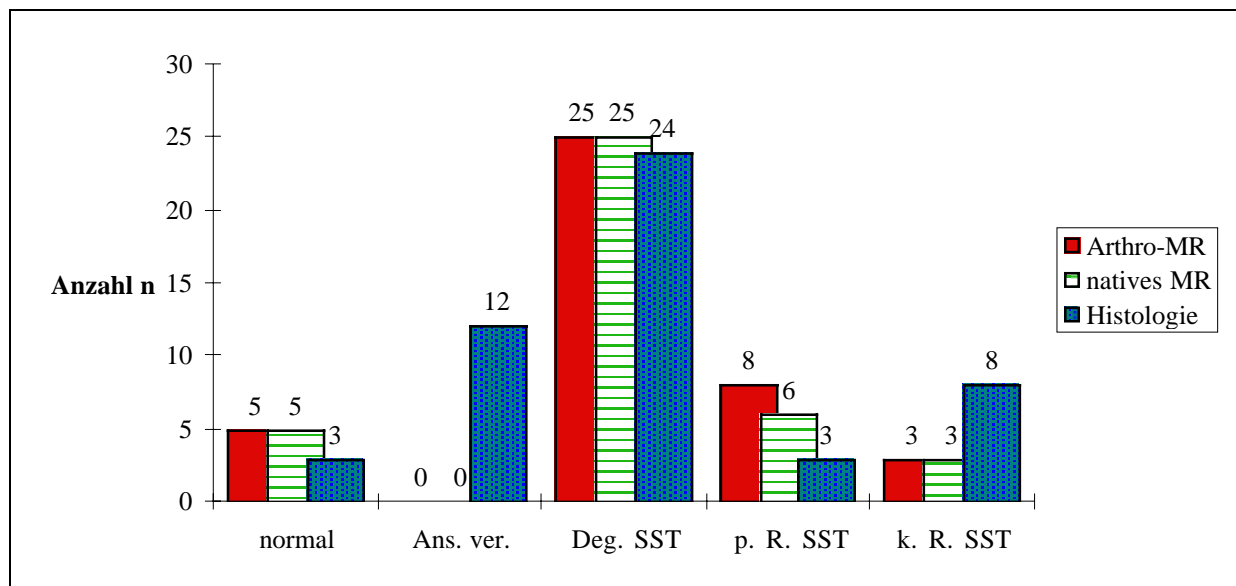
HSD: Hill-Sachs-Defekt
 Fl. Bursa: Flüssigkeit in der Bursa subacromialis
 Deg. SCT: Degeneration der Sehne des M. subscapularis
 Biz. Luxation: Luxation der langen Sehne des M. biceps brachii

Abb. 20: Nachweis von Erkrankungen des Schultergelenkes in der nativen MR und in der MR-Arthrographie

Der Vergleich der Trefferraten zwischen nativen und arthrographischen Sequenzen bei verschiedenen Läsionen des Schultergelenks zeigte eine eindeutige Überlegenheit der MR-Arthrographie in der Diagnostik von Labrumläsionen. Während die native MRT nur bei 11 Präparaten die Labrumläsion zeigte, war dies in der MR-Arthrographie bei 18 Präparaten möglich. Alle anderen Erkrankungen, wie der Hill-Sachs-Defekt, die Omarthrose, das Impingement-Syndrom, Flüssigkeit im subakromialen Schleimbeutel, die Ganglionzyste, die Degeneration der Subscapularissehne und die Luxation der Bizepssehne, wurden in beiden kernspintomographischen Techniken gleich häufig diagnostiziert.

Die Abbildung 21 zeigt die Häufigkeit verschiedener Läsionen der Supraspinatussehne in der Histologie, der nativen MR und der MR-Arthrographie. Bei allen drei Untersuchungen wurde

zwischen normaler Sehne, Ansatzveränderungen, Degenerationen, partieller und kompletter Ruptur unterschieden. Auch waren Mehrfachnennungen von Erkrankungen an einem Gelenk möglich.



Ans. ver.: Ansatzveränderungen der Supraspinatussehne

Deg. SST: Degeneration der Sehne des M. supraspinatus

p. R. SST: partielle Ruptur der Supraspinatussehne

k. R. SST: komplette Ruptur der Supraspinatussehne

Abb. 21: Normalbefunde und Läsionen der Supraspinatussehne in nativem und arthrographischem MRT und der Histologie

Von den 27 Präparaten, bei denen eine Histologie gewonnen wurde, fanden wir nur bei drei (11%) eine normale Sehne; in den kernspintomographischen Untersuchungen war in 5/32 Präparaten (16%) eine regelrechte Sehne zu finden. Strukturveränderungen innerhalb der Sehne fanden sich in der Histologie bei 24/27 (89%) und in den MRT-Untersuchungen bei 25/32 (78%) Präparate. Ansatzveränderungen an der Insertion am Humeruskopf wurden in der Histologie in 44% der Fälle (12 Sehnen), die in der MRT unter den degenerativen Veränderungen subsumiert wurden. Partielle Sehnendefekte fanden sich in der nativen MRT bei 6 Präparaten (19%), in der MR-Arthrographie in 8 Gelenken (25%) und in der Histologie in 3 Sehnen (11%). Acht Sehnen wiesen (30%) in der Histologie einen kompletten Defekt der Supraspinatussehne auf, während wir in den kernspintomographischen Sequenzen nur bei 3 Präparaten (9%) eine komplette Ruptur fanden.

Folgende Kapselansatztypen (definiert nach Moseley) wurden in der MRT bei Präparaten mit Labrumläsionen gesehen: (Abb. 22)

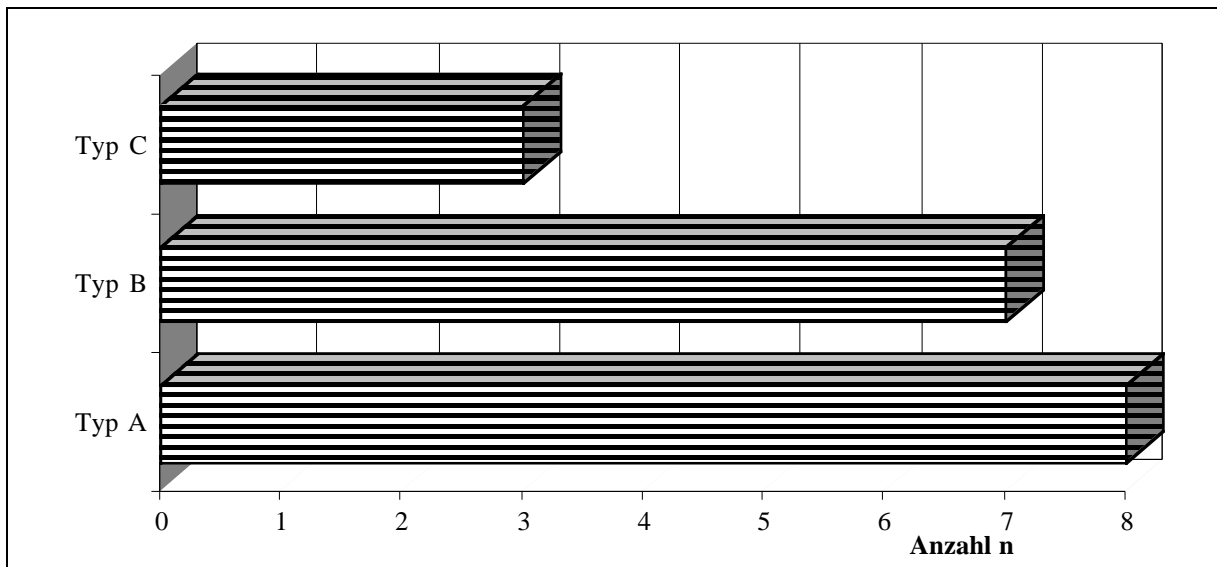


Abb. 22: Kapseltypen bei Präparaten mit Labrumläsionen

Von den 18 diagnostizierten Labrumläsionen fand sich bei 3 Präparaten ein Typ C des Kapselansatzes (17%), bei 7 ein Typ B (39%) und bei 8 ein Ansatz typ A (44%).

4.3.1 Darstellung von Knorpelläsionen mit verschiedenen Sequenzen

Bei 6 der 32 Präparate (19%) fanden wir eine Omarthrose des Humeruskopfes. Abbildung 23 gibt die Beurteilung in Abhängigkeit von der verwendeten Technik wieder.

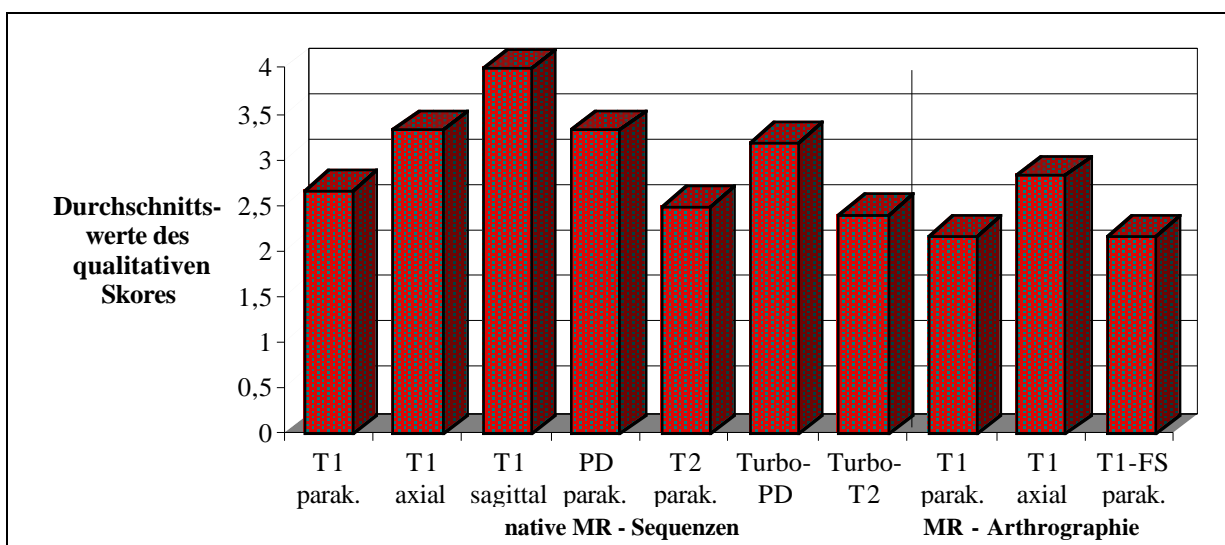


Abb. 23: Darstellung der Omarthrosen

Die Knorpelläsionen des Humeruskopfes ließen sich am besten in den parakoronaren und axialen Sequenzen der MR-Arthrographie darstellen, da hier die gesamte Facies glenoidalis mit der korrespondierenden Gelenkfläche des Humeruskopf erfaßt wird. Sagittale Einstellungen erfaßten die Gelenkflächen tangential, so daß Anschnittphänomene auftraten, weshalb diese Technik für die Knorpeldarstellung nicht geeignet war. Die Unterschiede zwischen der MR-Arthrographie und den nativen Sequenzen war allerdings nur gering (Durchschnittswert von 2,2 versus 2,4).

4.3.2 Darstellung von Labrumrissen mit unterschiedlichen Sequenzen

Von den 32 Präparaten fanden wir bei 56% (18 Präparate) ein Riß des glenoidalen Labrums. Die Abbildung 24 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Sequenzen:

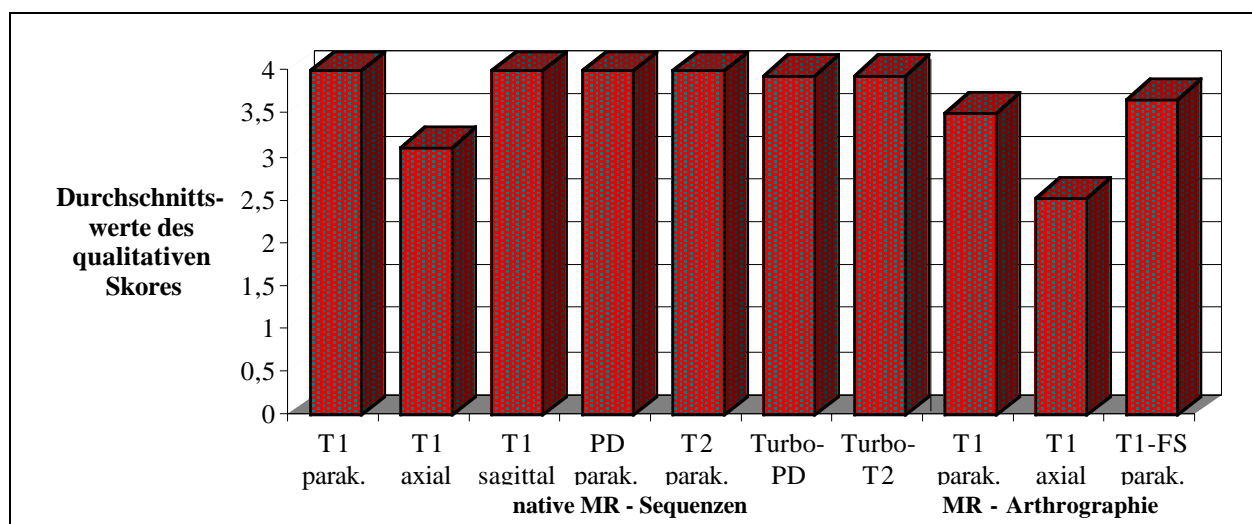


Abb. 24 Darstellung der Labrumrisse

Am besten geeignet zur Verifizierung von Rissen des Labrum glenoidale waren die axialen Sequenzen. Die arthrographischen Techniken schnitten mit einem Durchschnittswert von 2,5 versus 3,1 signifikant besser ab. ($p=0,0029$ für den Vorzeichentest und $p=0,0042$ für den Wilcoxon Test)

Dies ist durch das Eindringen des intraartikulären Kontrastmittels in die Rupturstelle des Labrums zu erklären, wodurch der Rupturspalt besser kontrastiert und z.T. auch aufgeweitet wurde.

4.3.3 Diagnostik von Hill-Sachs-Defekten mit verschiedenen Sequenzen

Bei 3 Präparaten trat ein Hill-Sachs-Defekt im Humeruskopf auf. Dieser konnte in den axialen Sequenzen besser als in anderen Sequenzen dargestellt werden. Die Abbildung 25 gibt die verschiedenen Bewertungen für die 10 benutzten Sequenzen wieder:

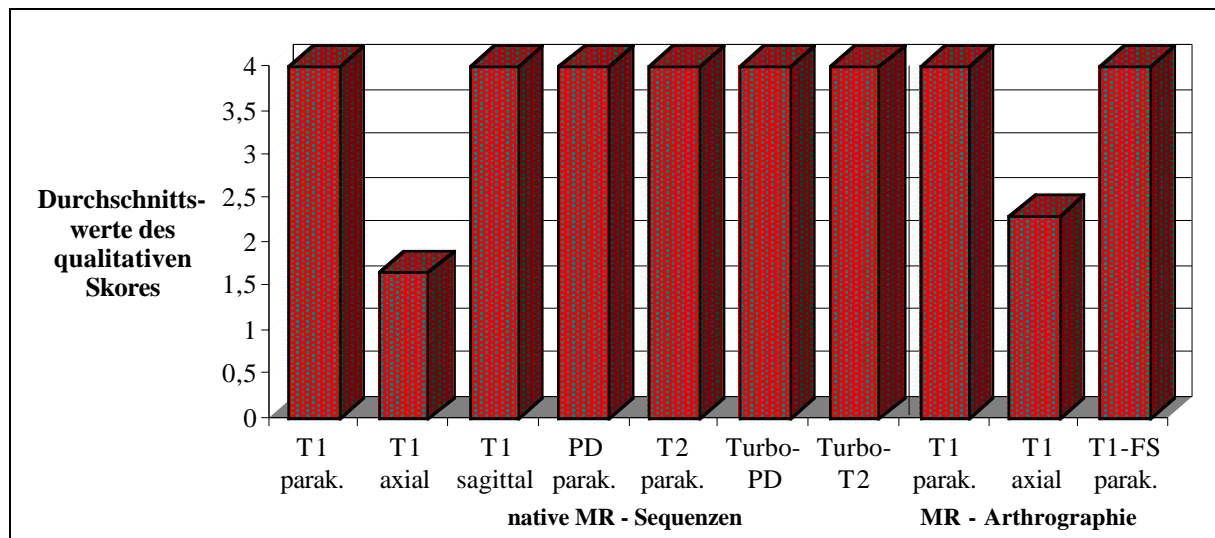


Abb. 25 Darstellung der Hill-Sachs-Defekte

Die native axiale Sequenz zeigt mit 1,7 versus 2,3 eine bessere Bewertung als die arthrographische axiale Sequenz. Auf Grund der geringen Anzahl von Defekten läßt sich kein statistischer Unterschied berechnen. Alle übrigen Sequenzen waren zur Darstellung von dorsokranial lokalisierten Impressionen des Humeruskopfes nicht geeignet.

4.3.4 Diagnostik des Impingement-Syndromes mit verschiedenen Techniken

Bei Einengung des subakromialen Raumes durch hypertrophe Schulterreckgelenke, Deformitäten des Akromions, Verschmälerung des subakromialen Fettstreifens und Verlagerung der Supraspinatussehne ergab sich der Verdacht auf ein Impingement, das bei 13 Gelenken (41%) der Gelenke zu erkennen war. Unter den 10 getesteten Sequenzen schnitten die parakoronaren am besten ab, wobei sowohl die parakoronare native als auch die arthrographische Sequenz mit 1,4 identische gute Bewertungen bekamen.

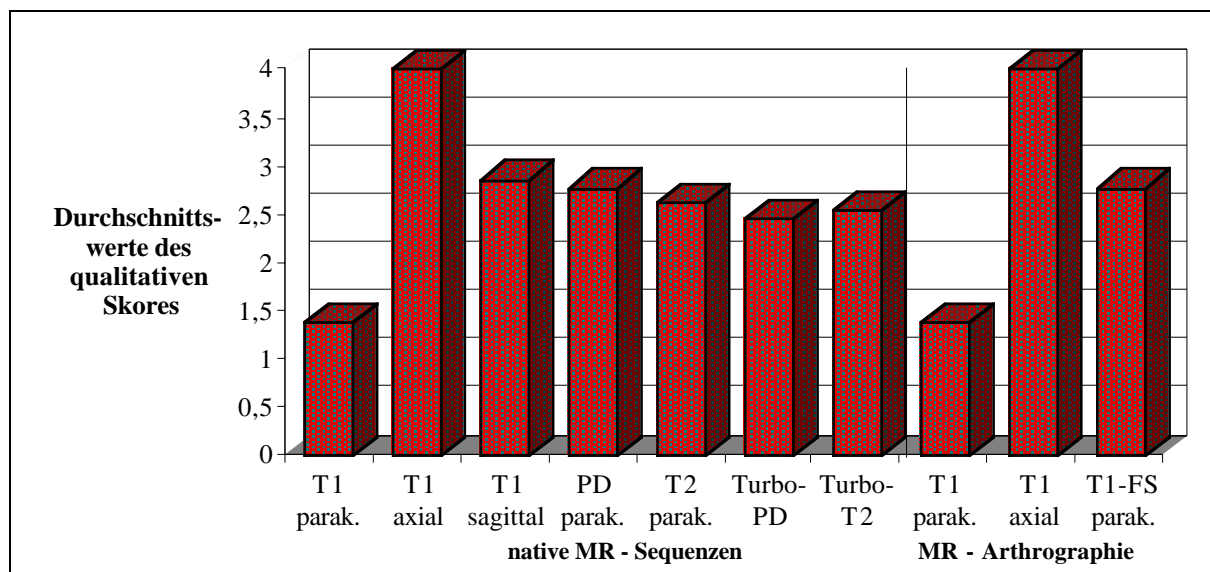


Abb. 26 Darstellung der Impingement-Syndrome

Unter den T_2 -gewichteten und den Protonendichte-Sequenzen zeigten die Turbo-Sequenzen tendentiell bessere Bewertungen als die Standardsequenzen (Bewertung von 2,5 - 2,7). Zur Darstellung gänzlich ungeeignet waren die axial orientierten Sequenzen, da sich bei dieser Schnittführung der Raum zwischen Humeruskopf und Acromion nicht reproduzierbar abbilden ließ.

4.3.5 Abgrenzung von Flüssigkeit in der Bursa subacromialis mit unterschiedlichen Sequenzen

5/32 Präparate (16%) zeigten in der Bursa subacromialis eine Flüssigkeitsansammlung, die in der MR-Arthrographie am kontrastreichsten erfaßt wurde. Innerhalb der arthrographischen Techniken war durch die zusätzliche Fettsuppression die Erkennbarkeit der freien Flüssigkeit weiter verbessert, da hiermit eine eindeutige Differenzierung zwischen dem jetzt signalfreien subakromialen Fettgewebe und der unverändert signalreichen Flüssigkeit gelingt. Auch die T_2 -gewichteten SE-Sequenzen lieferten einen guten Kontrast mit signalreicher Darstellung der subakromialen Flüssigkeit. Die Turbo-Sequenzen sind den Standardsequenzen etwas unterlegen, da das subakromiale Fettgewebe in den Turbo-Sequenzen heller ist als in den Standardsequenzen, wodurch der Kontrast zur subakromialen Flüssigkeit verschlechtert wird.

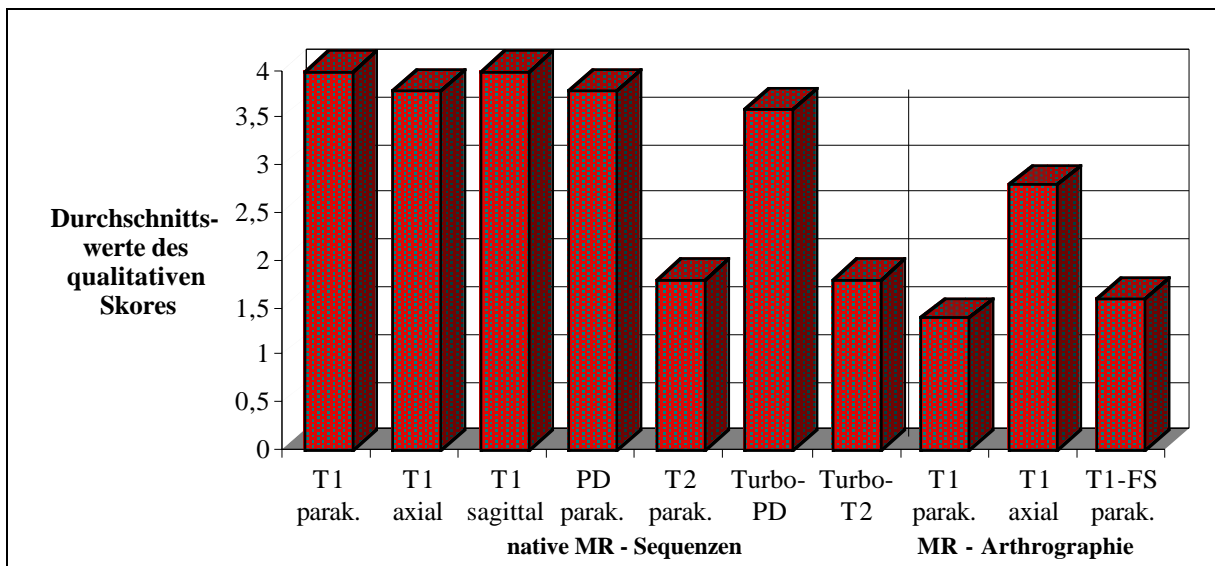


Abb. 27 Flüssigkeit in der Bursa subacromialis

Innerhalb der nativen Sequenzen waren die T_2 -gewichteten Sequenzen mit 1,8 aufgrund ihres Pseudoarthrographie-Effektes allen übrigen nativen T_1 - und PD-Sequenzen (3,8-4) überlegen. Jedoch schnitten sie wegen ihrer reduzierten Auflösung etwas schlechter ab als die arthrographischen Techniken mit 1,3-1,5.

4.3.6 Darstellung der Degeneration der Supraspinatussehne mit unterschiedlichen Techniken

Insgesamt fanden sich unabhängig von der Art der MRT-Untersuchung bei 25 Präparaten (78%) eine Degeneration der Supraspinatussehne. Abbildung 28 zeigt die Bewertung bei den verschiedenen Sequenzen:

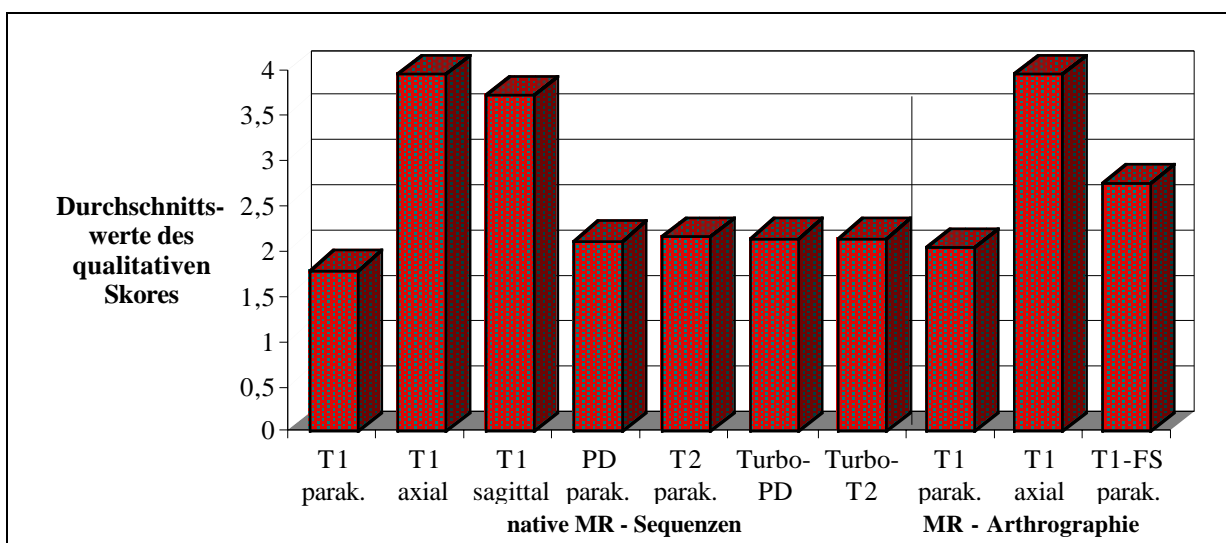


Abb. 28 Degeneration der Supraspinatussehne

Wie auch bei der Darstellung des anatomischen Verlaufes der Supraspinatussehne war die Degeneration der Sehne am besten auf den parakoronaren Sequenzen abzugrenzen. Völlig ungeeignet waren die sagittale (3,7) und die axiale (3,9) Sequenz. Im Vergleich von nativem und arthrographischem MRT war die native parakoronare T_1 -gewichtete Sequenz mit 1,8 versus 2,04 der korrespondierenden Arthro-Sequenz überlegen. Dieser Unterschied erreichte ein Signifikanzniveau von $p=0,0184$ für den Vorzeichentest und für den Wilcoxon Test mit $p=0,049$.

Die Turbo PD-, Turbo T_2 -gewichteten, sowie die normalen PD- und T_2 -gewichteten Sequenzen schnitten bei der Abgrenzung von Degenerationen der Supraspinatussehne mit 2,14 und 2,16 auch gut ab.

4.3.7 Abgrenzung von partiellen Defekten der Supraspinatussehne mit unterschiedlichen Sequenzen

Bei den 32 Präparaten fanden sich bei 8 (25%) eine partielle Ruptur der Supraspinatussehne. Die beste Bewertung fand sich bei der T_1 -gewichteten parakoronaren Arthro-MR-Sequenz mit 2,13 versus 2,75 bei der T_2 -gewichteten parakoronaren, als beste native MR Sequenz (Abb. 29).

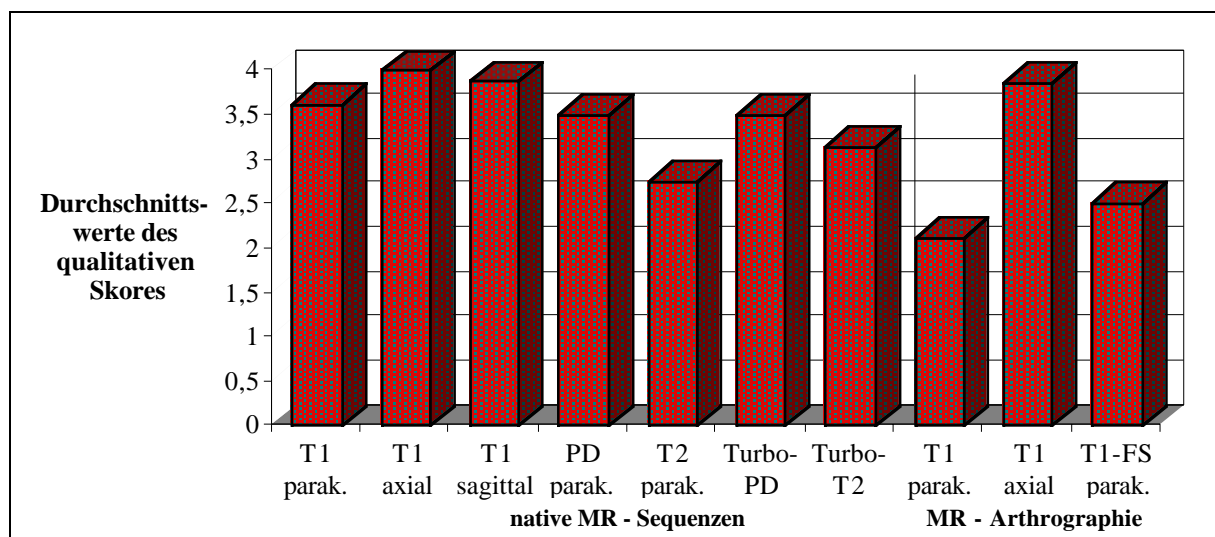


Abb. 29 Darstellung von partiellen Defekten der Supraspinatussehne

Wie auch bei der Darstellung der Anatomie der Supraspinatussehne waren die Sequenzen mit parakoronarer Ausrichtung den anderen deutlich überlegen. Die axialen und sagittalen Sequenzen sind mit Werten zwischen 3,8 und 4 für die Darstellung der partiellen Rupturen nicht geeignet. Die fettunterdrückte Arthro-MR-Sequenz war mit 2,5 nur etwas schlechter als die nicht fettunterdrückte Sequenz, jedoch immer noch besser als die T_2 -gewichteten

parakoronare native MR-Sequenz. Der Unterschied zwischen den nativen und den arthrographischen Sequenzen ist nicht signifikant ($p=0,60$ für den Wilcoxon-Test und $p=1$ für den Vorzeichentest).

4.3.8 Abgrenzung von kompletten Rupturen der Supraspinatussehne mit unterschiedlichen Techniken

Insgesamt trat bei 3 Präparaten ein kompletter Defekt der Supraspinatussehne auf. Die parakoronaren Sequenzen waren den axialen und sagittalen überlegen (Abb. 30).

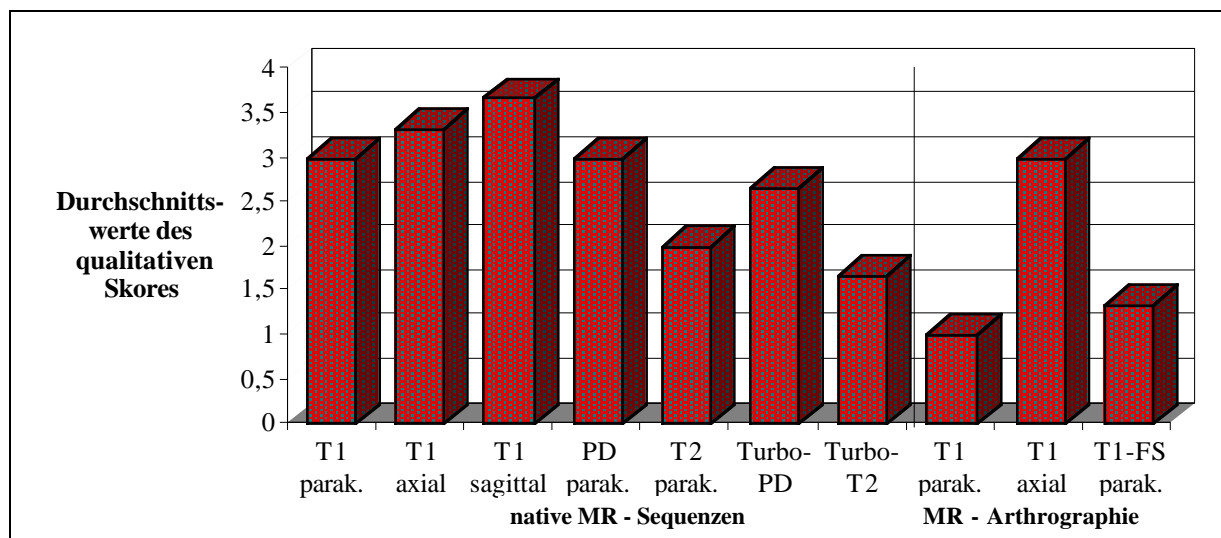


Abb. 30 Bewertungen der kompletten Rupturen

Bei den nativen Sequenzen wurden die Turbo T_2 -gewichteten Sequenzen mit 1,67 am besten bewertet. In der MR-Arthrographie wurden alle 3 Rupturen in der T_1 -gewichteten parakoronaren Sequenz mit 1 bewertet, in der fettunterdrückten Sequenz wurden 2 mit 1 und eine komplette Ruptur mit 2 bewertet. Die axialen Sequenzen waren mit 3,33 und 3 ebenso wenig zur Darstellung von kompletten Defekten geeignet wie die sagittale Sequenz mit 3,67.

4.3.9 Darstellung der übrigen Pathologien mit verschiedenen Techniken

Bei einem Präparat bestand eine Bizepssehnenluxation, eine Degeneration der Subscapularissehne und eine Ganglionzyste im Humeruskopf. Bei der Bizepsluxation fand sich eine gute Darstellung in den axialen Sequenzen mit der Luxation der Sehne nach medial. Alle anderen Sequenzen waren nicht geeignet. Bei der Degeneration der Subscapularissehne waren ebenfalls nur die axialen Sequenzen geeignet. Die Ganglionzyste im Humeruskopf war

am besten in den parakoronaren Sequenzen sichtbar. Die MR-Arthrographie erbrachte keinen diagnostischen Gewinn gegenüber den nativen Sequenzen.

4.3.10 Arthroskopische Diagnosen

Von den insgesamt 32 Präparaten hatten in der Arthroskopie nur zehn (31%) eine intakte Rotatorenmanschette. Von den 22 krankhaft veränderten Sehnen fanden sich bei 15 Auffaserungen, bei sechs partielle und bei vier komplette Defekte der Rotatorenmanschette. Bei drei Präparaten mit partiellen Defekten fanden sich an anderen Stellen der Sehne deutliche Auffaserungen (Abb. 31).

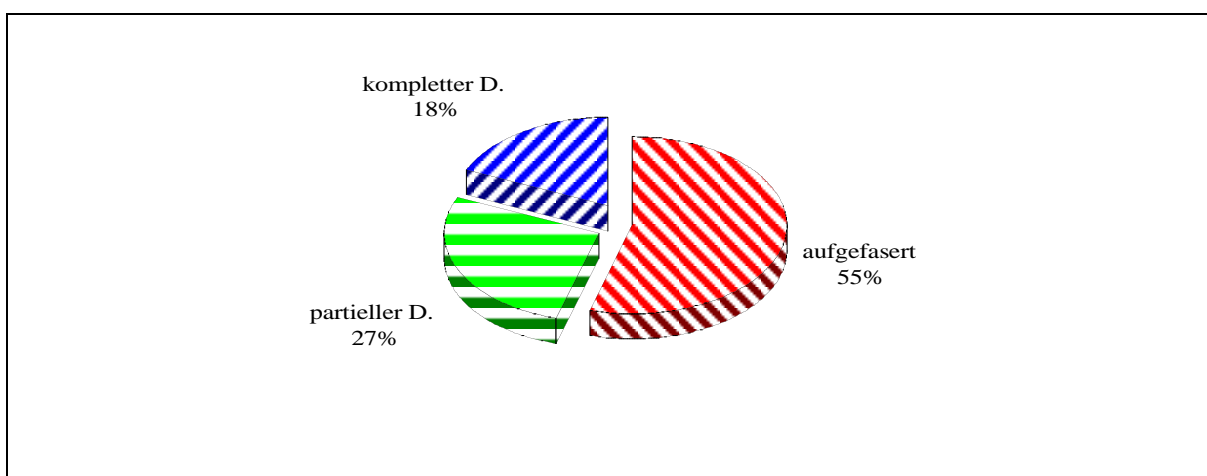


Abb. 31: Arthroskopische Befunde an der Rotatorenmanschette

Läsionen der Sehne des M. subscapularis waren bei zwei Präparaten zu erkennen und bei einem fand sich eine Luxation und Ruptur des M. biceps brachii.

Bei den Erkrankungen von Humerus und Skapula fanden sich insgesamt zwei Hill-Sachs-Defekte, zwei Bankart-Läsionen und insgesamt 22 (69%) Läsionen des Labrum glenoidale. Bei drei war das komplette Labrum abgelöst (14%), bei 17 (77%) bestanden Risse und bei zwei Auffaserungen am fibrösen Labrum (9%).

4.4 Vergleich von MRT mit Arthroskopie und Histologie

4.4.1 Diagnostische Genauigkeit der nativen MR-Sequenzen im Vergleich zur Arthroskopie als Referenzmethode

Die Tabelle 1 zeigt die Trefferraten der nativen MR-Sequenzen im Nachweis von Läsionen der Supraspinatussehne und des Labrums:

	Supraspinatussehne:			Labrum -
	Degeneration	partielle Ruptur	komplette Ruptur	Läsion :
richtig positiv :	14	1	2	10
falsch negativ :	3	5	2	13
falsch positiv :	11	5	1	2
richtig negativ :	4	21	27	7
Sensitivität :	82%	17%	50%	43%
Spezifität :	27%	81%	96%	78%
pos. Vorhersage :	56%	17%	66%	83%
neg. Vorhersage :	57%	81%	93%	35%
Gesamtgenauigkeit:	56%	69%	91%	53%

Tab. 1: Vergleich von nativer MR mit der Arthroskopie als Referenz

Von den 17 in der Arthroskopie als aufgefasert oder degenerativ verändert diagnostizierten Supraspinatussehnern wurden in der nativen MRT 14 richtig erkannt (Sensitivität von 82%). Bei 11 wurde ein falsch positiver Befund erhoben (positiver Vorhersagewert von 56%). Jedoch wurden von den 15 Supraspinatussehnern, die in der Arthroskopie als nicht degenerativ verändert eingeschätzt wurden, nur vier richtig erkannt. Das entspricht einer Spezifität von nur 27%. Drei arthroskopisch aufgefaserte Sehnen wurden als normal befundet. Insgesamt waren bei 18/32 Sehnen die Diagnosen übereinstimmend, woraus sich eine Gesamtgenauigkeit von 56% berechnet. Die Betrachtung der Supraspinatussehne während der Arthroskopie von der Gelenkseite her und die Auflösung intratendinöser Veränderungen in

der Kernspintomographie, die der Arthroskopie nicht zugänglich sind, erklären die schlechten Ergebnisse bezüglich Spezifität und Genauigkeit.

Von den sechs arthroskopisch gesicherten partiellen Rupturen der Supraspinatussehne war nur eine in den nativen MR-Sequenzen nachweisbar. Die anderen fünf wurden nicht erkannt. Dies entspricht einer Sensitivität von 17%. Bei den 26 Supraspinatussehnen ohne partiellen Defekt wurde bei 21 die richtige Diagnose gestellt. Hieraus ergibt sich eine Spezifität und ein negativer Vorhersagewert von 81%. Da von den 32 Präparaten nur 22 richtig diagnostiziert wurden, ergibt sich eine Gesamtgenauigkeit von 69%.

Zwei der vier kompletten Rupturen wurden in den nativen Sequenzen richtig diagnostiziert. (Sensitivität 50%) Die 28 Präparate ohne komplette Ruptur der Supraspinatussehne wurden in 96% der Fälle (ein falsch positiver) richtig diagnostiziert. Insgesamt fand sich eine Genauigkeit von 93%, d.h. es wurden 2 richtig positiv und 27 richtig negativ diagnostiziert.

Von den 23 Schultern mit einer Labrumläsion wurden in den nativen Sequenzen nur 10 richtig erkannt. (Sensitivität von 43%, negativer Vorhersagewert von 35%). Von den 9 Schultern ohne erkennbare Pathologie des Labrums fand sich bei 7 Schultern in der Kernspintomographie auch keine Läsion (Spezifität von 78%, positiver Vorhersagewert von 83%). Hieraus ergibt sich bei nur 17 von 32 richtig befundeten Labrumpathologien eine Gesamtgenauigkeit für die native MRT von 53%.

4.4.2 Diagnostische Genauigkeit der MR-Arthrographie im Vergleich zur Arthroskopie

Die Tabelle 2 zeigt die jeweiligen Trefferraten der arthrographischen MR-Sequenzen bei der Darstellung der Gelenkerkrankungen der Schulter im Vergleich zur Arthroskopie als Referenzmethode:

	Supraspinatussehne:			Labrum -
	Degeneration	partielle Ruptur	komplette Ruptur	Läsion :
Richtig positiv :	14	3	2	16
Falsch negativ :	3	3	2	7
Falsch positiv :	11	5	1	2
Richtig negativ :	4	21	27	7
Sensitivität :	82%	50%	50%	70%
Spezifität :	27%	81%	96%	78%
pos. Vorhersage :	56%	38%	66%	89%
neg. Vorhersage :	57%	88%	93%	50%
Gesamtgenauigkeit:	56%	75%	91%	72%

Tab. 2: Diagnostische Genauigkeit der MR-Arthrographie mit der Arthroskopie als Referenz

In der Arthroskopie wurde bei 6 Schultern eine partielle Ruptur der Supraspinatussehne festgestellt. Dieser Befund konnte in der MR-Arthrographie bei 50% bestätigt werden. Jedoch wurde bei 5 Präparaten eine partielle Ruptur diagnostiziert, bei denen sich in der Arthroskopie keine partielle Ruptur fand (pos. Vorhersagewert = 38%). Von den 26 Schultern ohne partielle Ruptur in der Arthroskopie wurden 21 in der MR-Arthrographie richtig diagnostiziert (Spezifität 81%, neg. Vorhersagewert 88%). Insgesamt konnte bei 24 der 32 Präparaten die richtige Diagnose einer partiellen Ruptur gestellt werden. Dies ergibt eine Gesamtgenauigkeit von 75%.

Bei kompletten Rupturen der Rotatorenmanschette bestanden übereinstimmende Befunde in der Arthroskopie und der Kernspintomographie, wobei im Test nach Spearman und Pearson

eine signifikante Korrelation mit einem p-Wert $<0,002$ und im X^2 -Test für $p<0,003$ berechnet wurde.

In der Darstellung der labralen Läsionen konnte die MR-Arthrographie von den 23 arthroskopisch gesicherten Fällen 16 richtig diagnostizieren. (Sensitivität 70%) Von den 9 Schulterpräparaten mit unauffälliger Darstellung des Labrums in der Arthroskopie waren in der MR-Arthrographie 7 auch regelrecht, woraus sich eine Spezifität von 78% errechnet. In der Diagnostik labraler Läsionen hatte die MR-Arthrographie mit einem positiven Vorhersagewert von 89% einen geringfügig höheren Wert als die native MR mit 83%. In der Gesamtgenauigkeit war die MR-Arthrographie mit 72% gegenüber 53% den konventionellen Sequenzen deutlich überlegen.

4.4.3 Diagnostische Genauigkeit der nativen MR-Sequenzen im Vergleich zu den histopathologischen Befunden als Referenz

Tabelle 3 gibt die Werte für die diagnostische Sicherheit der nativen MR-Sequenzen im Vergleich zur Histologie als Referenzmethode wieder:

	Supraspinatussehne:		
	Degeneration	partielle Ruptur	komplette Ruptur
richtig positiv :	19	1	3
falsch negativ :	5	2	5
falsch positiv :	1	3	0
richtig negativ :	2	21	19
Sensitivität :	79%	33%	38%
Spezifität :	67%	88%	100%
pos. Vorhersage :	95%	25%	100%
neg. Vorhersage :	29%	91%	79%
Gesamtgenauigkeit:	78%	81%	81%

Tab. 3: Vergleich von nativen MR Befunden mit der Histologie als Referenz

Insgesamt fanden sich in der Histologie bei 24 Präparaten degenerative Veränderungen der Sehne und im Sehnenansatz. In 19 Fällen wurden entsprechende Befunde in der nativen MRT gesehen (Sensitivität von 79%). Bei einer der 3 Sehnen ohne Veränderungen in der Mikroskopie fanden sich in der MRT Zeichen der Degeneration. Hieraus ergibt sich eine Spezifität von 67% und ein negativer Vorhersagewert von 29%. Der positive Vorhersagewert ist mit 95% relativ hoch, da nur eine von 20 Sehnen in der MRT fälschlicherweise als degenerativ verändert diagnostiziert wurde. Die Gesamtgenauigkeit für die Diagnose der Sehnendegeneration beträgt 78%.

Im Nachweis von partiellen Schichtdefekten konnte die native MRT nur in 1/3 der Fälle die richtige Diagnose stellen (Sensitivität 33%). 21/24 Präparate wurden als richtig negativ diagnostiziert (Spezifität 88%). Von den 4 in den nativen Sequenzen als partiell rupturiert eingestuften Sehnen konnte nur eine in der Histologie bestätigt werden (positiver Vorhersagewert 25%). Aber in den nativen Sequenzen wurden nur 2/23 nicht partiell gerissene Sehnen als teilweise rupturiert befundet (negativer Vorhersagewert 91%). Die Gesamtgenauigkeit betrug 81%.

In der Diagnostik von kompletten Rupturen der Supraspinatussehne konnten nur 3/8 Fälle in den nativen Sequenzen richtig erkannt werden (Sensitivität von 38%). Die Spezifität lag bei 100%, d.h. es wurde keine einzige Sehne in der nativen MRT als komplett rupturiert diagnostiziert, die nicht auch in der Histologie einen kompletten Defekt aufwies. Hieraus ergibt sich auch eine positiver Vorhersagewert von 100%. Von den 24 histologisch nicht komplett rupturierten Sehnen konnten 19 in der nativen MRT bestätigt werden (negativer Vorhersagewert von 79%). Die Gesamtgenauigkeit für die Darstellung kompletter Schichtdefekte betrug für die nativen Sequenzen mit der Histologie als Referenz 81%.

4.4.4 Diagnostische Genauigkeit der MR-Arthrographie im Vergleich zu histopathologischen Befunden als Referenz

Die diagnostische Genauigkeit der MR-Arthrographie bei Erkrankungen der Supraspinatussehne mit der Histologie als Referenzmethode zeigt Tabelle 4:

	Supraspinatussehne:		
	Degeneration	partielle Ruptur	komplette Ruptur
richtig positiv :	19	2	3
falsch negativ :	5	1	5
falsch positiv :	1	3	0
richtig negativ :	2	21	19
Sensitivität :	79%	67%	38%
Spezifität :	67%	88%	100%
pos. Vorhersage :	95%	40%	100%
neg. Vorhersage :	29%	95%	79%
Gesamtgenauigkeit:	78%	85%	81%

Tab. 4: Vergleich von MR-Arthrographie mit der Histologie als Referenz

Von den 24 als degenerativ oder mit Ansatzveränderungen erkrankten Supraspinatussehnen wurden in der MR-Arthrographie wie in der nativen MRT 19/24 (79%) richtig erkannt. Eine Sehne wurde in der MRT fälschlich als degenerativ verändert eingestuft (Spezifität 67%, positiver Vorhersagewert 95%). Von den 7 in der MR-Arthrographie als nicht degenerativ veränderte Sehnen waren in der Histologie nur zwei Fälle wirklich ohne degenerative Gewebsveränderungen (negativer Vorhersagewert 29%).

Bei der Feststellung partieller Rupturen konnten die arthrographischen MR-Sequenzen zwei der drei Fälle richtig diagnostizieren (Sensitivität 67%). Der negative Vorhersagewert betrug 95%, die Spezifität 88% und der positive Vorhersagewert 60% (3/5 der partiellen Rupturen in der Histologie wurden auch in der MRT als solche eingestuft). Die Gesamtgenauigkeit betrug 85%, da die Befunde in 23/ 27 Fällen übereinstimmten.

In der Diagnostik kompletter Rupturen stimmen die Trefferraten von nativer MRT und MR-Arthrographie überein. Es gab keinen falsch positiven Befunde in der MRT (positiver Vorhersagewert und Spezifität 100%). Die Spezifität für den Nachweis des kompletten Schichtdefekts betrug nur 38%, da nur 3/8 der kompletten Rupturen in der MRT richtig

erkannt wurden. Der Grund für die relativ niedrige Spezifität lag darin begründet, daß in fünf Fällen in der MRT eine partielle Ruptur diagnostiziert wurde, die aber in der histologischen Aufarbeitung einen kompletten durchgehenden Schichtdefekt zeigten. Der negative Vorhersagewert war 79%, die Gesamtgenauigkeit 81%. Die Diagnose einer kompletten Ruptur der Supraspinatussehne in beiden MRT-Untersuchungen korrelierte signifikant mit dem histologischen Befund einer kompletten Ruptur, der p-Wert im Pearson-Spearman-Test lag bei $<0,001$, der im χ^2 -Test $<0,002$.

4.4.5 Zusammenhang zwischen Arthroskopie und Histologie bei Läsionen der Sehne des M. supraspinatus

Bei dem Vergleich der Befunde der Sehne des M. supraspinatus in der Arthroskopie und in der Histologie ergibt sich folgendes Bild.

<u>Arthroskopie</u>		<u>Histologie</u>				
Sehne des M. supraspinatus		normal	struktur- verändert	partieller Defekt	kompletter Defekt	Veränderungen im Sehnenansatz
ohne Befund	10	2	6	0	1	1
aufgefasert	15	1	12	2	2	6
partieller Defekt	5	1	4 **	2	2	2
kompletter Defekt.	4	0	4	0	4 *	4

*: Korrelation $p < 0,0003$ (χ^2 -Test)

** : Korrelation $p < 0,01$ (χ^2 -Test)

Von den 10 in der Arthroskopie als unauffällig befundeten Sehnen fand sich nur bei zwei eine nicht veränderte Sehne in der Histologie. Von den 15 aufgefaserten Sehnen waren 75% in der Histologie strukturverändert, jedoch auch jeweils zwei mit partiellem und komplettem Defekt. Bei den sechs partiellen Defekten konnten nur bei fünf Präparaten eine Histologie gewonnen werden; hierunter waren nur bei zwei partielle Defekte der Sehne nachweisbar; bei weiteren zwei wurde ein kompletter Defekt diagnostiziert, alle anderen zeigten deutliche Strukturveränderungen und Läsionen an der Sehneninsertion.

Völlige Übereinstimmung fand sich bei den kompletten Rupturen, alle vier wurden auch in der Histologie als kompletter Defekt diagnostiziert ($p < 0,0003$ im χ^2 -Test).

Ein weiterer Zusammenhang bestand zwischen der Diagnose partieller Defekte in der Arthroskopie und der Strukturveränderung der Sehne in der Histologie ($p < 0,01$ im χ^2 -Test).

Teil B: Ergebnisse der klinischen Studie

4.5.1 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Von 38 Patienten stellten sich 29 mit einer ventralen Instabilität vor, bei zwei Patienten bestand eine dorsale glenohumerale Instabilität und bei sieben Patienten war die Instabilität multidirektional ausgeprägt. Hieraus ergaben sich für den Untersucher Verdachtsmomente auf das Vorliegen einer Labrumläsion, eines Hill-Sachs-Defektes, einer Bankart-Läsion, einer kompletten vorderen Ablösung des Kapsel-Labrum-Komplexes oder einer Rotatorenmanschettenläsion (Abb. 32).

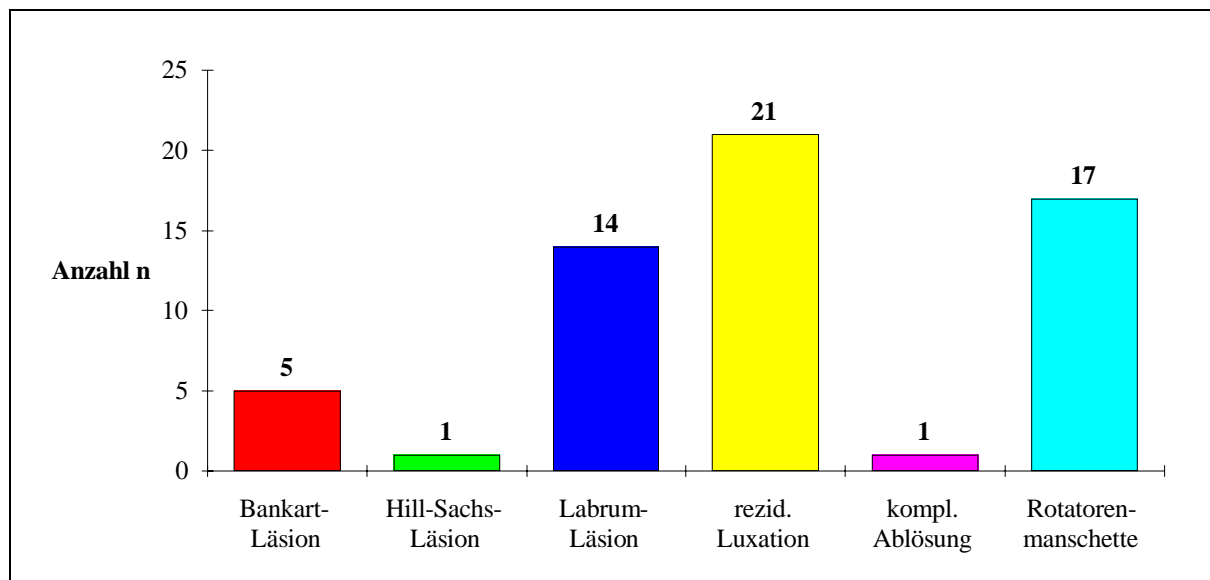


Abb. 32: Befunde der klinischen Untersuchung

21 Patienten hatten rezidivierende Schulterluxationen, bei 14 Patienten bestand der Verdacht auf eine Labrumläsion und bei einem Patient der Verdacht auf eine vordere Ablösung.

4.5.2 Vergleich der Befunde in der klinischen Untersuchung, der CT- und MR-Arthrographie und der Arthroskopie

Die Abbildung 33 zeigt die Verteilung der Diagnosen bei den unterschiedlichen bildgebenden Verfahren, der Arthroskopie und des Untersuchungsbefundes. Insgesamt fanden sich in der Arthroskopie 22 Hill-Sachs-Läsionen. Im Vergleich dazu konnte der Untersucher nur bei einem Patienten den Verdacht äußern, hingegen wurde in der CT- und in der MR-Arthrographie bei 21 Patienten ein Hill-Sachs-Defekt gesehen.

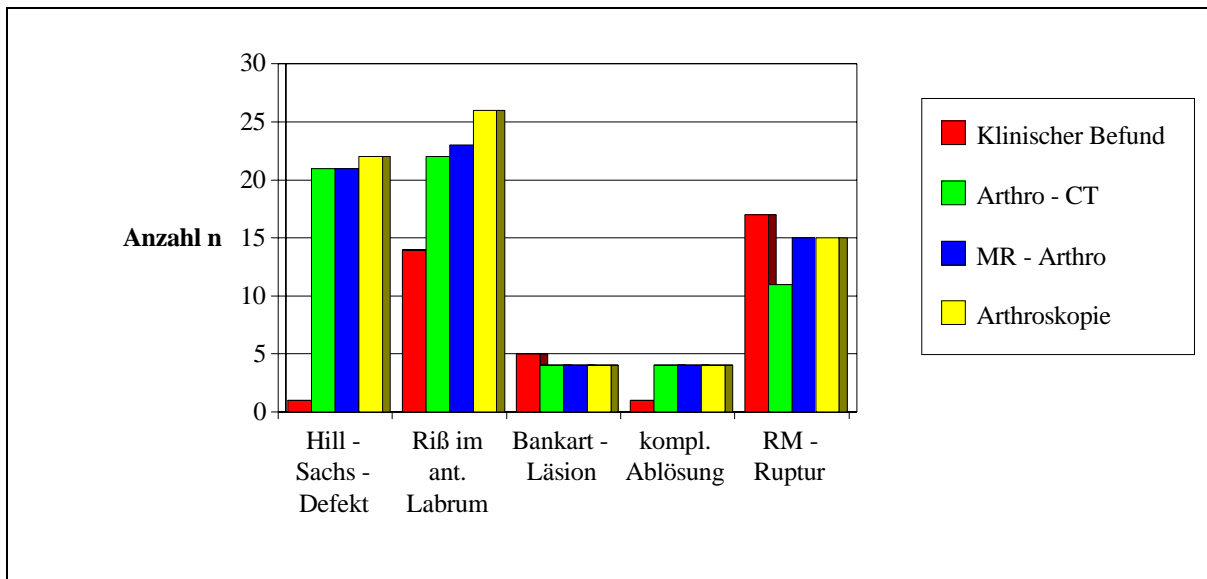


Abb. 33: Befunde von CT-, MR-Arthrographie, Arthroskopie und klinischer Untersuchung

Von den 26 in der Arthroskopie gefundenen Risse im vorderen Labrum wurden in der MR-Arthrographie 23 (88%), in der Arthro-CT 22 (85%) erkannt. Bei 14 (54%) der untersuchten Patienten bestätigte sich dieser Verdacht. Von den fünf Patienten, bei denen sich klinisch der Verdacht auf eine Bankart-Läsion ergab, wurde dies bei vier Patienten in der Arthroskopie bestätigt. Ebenso fand sich in beiden bildgebenden Verfahren bei vier Patienten eine knöcherne Fraktur des Pfannenrandes. Eine komplette Ablösung des Labrums war sowohl in der Arthroskopie als auch bei Arthro-CT und MR-Arthrographie bei vier Patienten zu erkennen. Bei der klinischen Untersuchung ergab sich hierauf nur bei einem Patienten der Verdacht auf das Vorliegen einer kompletten Ablösung.

Der bei 17 Patienten geäußerte Verdacht auf das Vorliegen einer Ruptur der Rotatorenmanschette fand sich in der Arthroskopie bei 15 Patienten. Diese 15 Rupturen waren in der MR-Arthrographie alle nachweisbar, während dies in der Arthro-CT nur bei 11 Patienten gelang.

4.5.3 Morphologische Befunde in der CT- und MR-Arthrographie des Schultergelenkes

In der kombinierten CT-Arthrographie und MR-Arthrographie wurden die Kontrastmittel (KM) für die CT und MRT zusammen mit Luft nach einmaliger Gelenkpunktion unter röntgenologischer Kontrolle in das erkrankte Schultergelenk injiziert. Dadurch stellen sich die Binnenstrukturen des Gelenkes in beiden Methoden im Doppelkontrast dar, wobei sich das flüssige Kontrastmittel (jodhaltiges KM für die CT, Gadolinium für die MRT) als signalreiche Flüssigkeit an den dorsalen Gelenkanteilen ansammelt und die Luft signalfrei schwarz

ventral im Gelenkkavum lokalisiert ist. Die CT-Arthrographie stellt das Schultergelenk ausschließlich in axialen Schnitten dar, während in der MR-Arthrographie axiale und schräg koronare Schnittführungen möglich sind.

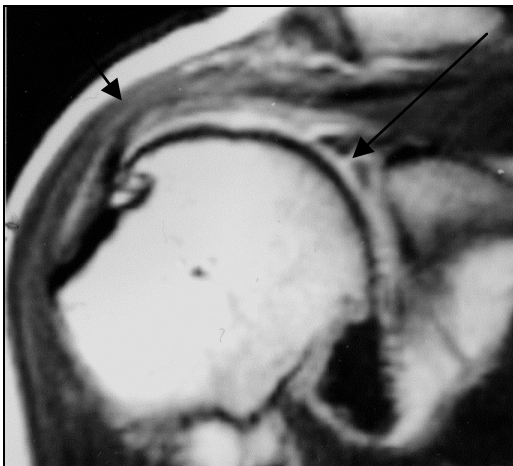
In den axialen Schnitten wird das vordere und hintere Labrum in beiden Methoden im Querschnitt erfaßt, wobei Einrisse im Labrum durch Eintritt von Kontrastmittel in die abgelöste Basis des Labrum zu diagnostizieren sind (Abb. 34, 36). Durch die zusätzliche koronare Schnittführung in der MRT kann die Ausdehnung eines Labrumrisses auf das obere (sog. SLAP-lesion) und unteren Labrum eindeutig dargestellt werden, was in den axialen CT-Schnitten nicht gelingt (Abb. 35a). Damit sind in der MR-Arthrographie alle vier Quadranten des Glenoids auf eine Labrumläsion beurteilbar, in der CT-Arthrographie nur das vordere und hintere Labrum. Die Graduierung eines Labrumdefektes hinsichtlich Riß, Defekt oder Ablösung ist in beiden arthrographischen Methoden gleich möglich, da sich die Konturen des Labrums in der CT wie in der MRT durch das umgebende positive Kontrastmittel gut abgrenzen lassen. Die Ausdehnung einer Luxationstasche ist in Kombination von koronarem und axialem MRT-Schnitt etwas übersichtlicher erfaßt.

Ein weiterer Vorteil der koronaren MR-Arthrographie liegt in der besseren Darstellung der Supraspinatussehne als Leitsehne der Rotatorenmanschette, die im gesamten Verlauf längs geschnitten wird. Sowohl degenerative Sehnenveränderungen als auch kleine Risse bzw. Schichtdefekte lassen sich erfassen (Abb. 35a). Ausgedehnte Defekte der Rotatorenmanschette sind demgegenüber in beiden Methoden anhand des Schichtdefektes mit Kontrastmitteleintritt eindeutig nachzuweisen (Abb. 35b/c).

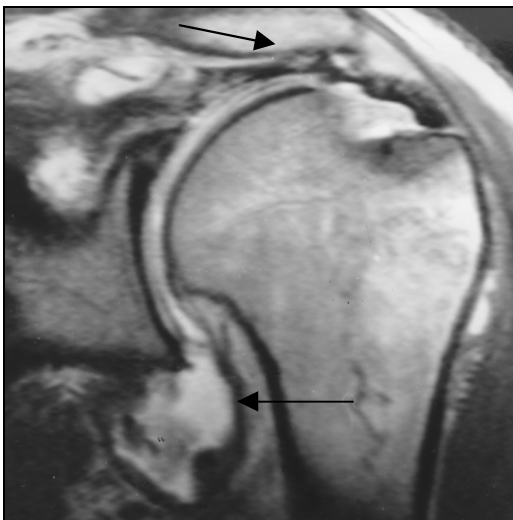
Im Nachweis von knöchernen Läsionen am Schultergelenk hat die CT-Arthrographie geringe Vorteile gegenüber der MR-Arthrographie. Hill-Sachs-Läsionen, Pfannenrandfrakturen und Absprengungen lassen in der CT sicher beurteilen, da die Spongiosastruktur und die kortikalen Begrenzungen von Humeruskopf und Glenoid gut zu erkennen sind, so daß Unterbrechungen oder Stufen gut nachzuweisen sind (Abb. 37a, 38a). In der MRT ist die kortikale Begrenzung der Knochen als signalfreie Linie zu erkennen, während die Spongiosa nur ungenau abgebildet ist, so daß kleinere Frakturen schwerer nachweisbar werden. Die MRT zeigt im Vergleich zur CT das frakturbegleitende Knochenmarködem, das signalarm im signalreichen Fettgewebe der Schulterknochen erscheint (Abb. 37b/38b). Dadurch sind auch Frakturen in der MRT darzustellen..



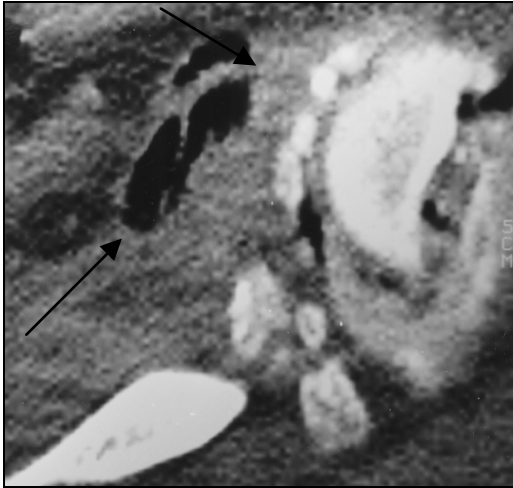
Abbildung 34: Axiale MR–Arthrographie mit ventraler und dorsaler Labrumablösung (Pfeile). Auch im Doppelkontrast ist das Labrum durch den Kontrastmittelbeschlag gut von der intraartikulären Luft abzugrenzen.



Der Vorteil der MR-Arthrographie ergibt sich durch die variable Schnittführung und der Möglichkeit weitere Gelenkläsionen zu detektieren. Die **Abbildung 35a** zeigt eine Ablösung des vorderen oberen Labrums (sog. SLAP–lesion) (langer Pfeil). Zudem besteht eine hochgradige Degeneration der Supraspinatussehne (kurzer Pfeil).



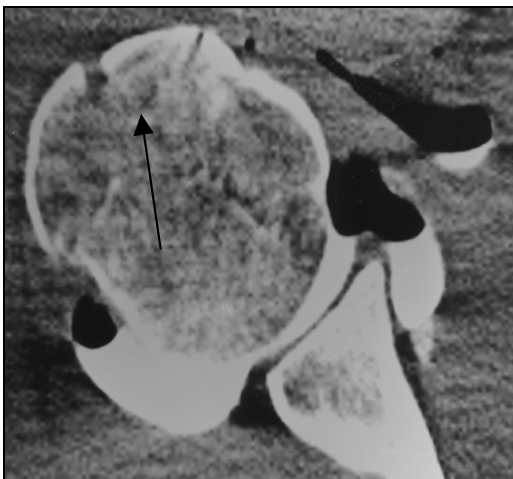
Ein subtotaler Defekt der Rotatormanchette mit Humeruskopfhochstand zeigt **Abbildung 35b**. Desweiteren besteht eine große vordere Luxationstasche (Pfeile).



Die axiale CT–Arthrographie kann Defekte der Rotatorenmanschette nur darstellen, wenn diese sehr ausgedehnt sind (**Abbildung 35c**). Dies ist durch Übertritt von KM und Luft in die Bursa subacromialis zu erkennen (Pfeile).



Die **Abbildung 36** zeigt eine axiale MR–Arthrographie mit einem Riß des dorsalen Labrum (Pfeil).



Knöcherne Verletzungen sind in der CT–Arthrographie oft kontrastreicher abzubilden, da die Knochenspongiosa abgebildet wird. **Abbildung 37a** zeigt eine Abrißfraktur des Tuberculum majus (Pfeil).

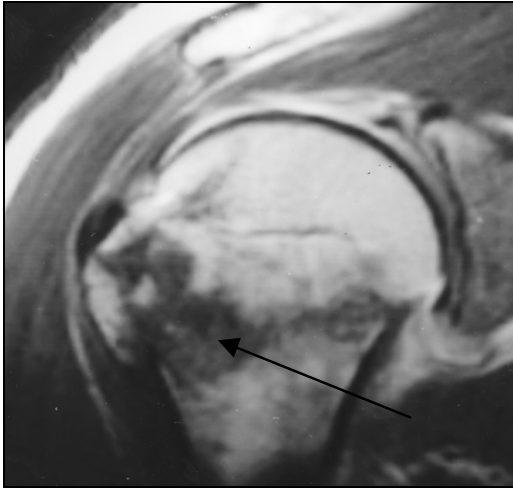


Abbildung 37b:

Ossäre Läsionen sind in der MR-Arthrographie nicht in gleicher Genauigkeit darzustellen. Als indirektes Zeichen der Fraktur (Abriß des Tuberculum majus) ist ein Knochenmarködem in der MRT zu erkennen (Pfeil).

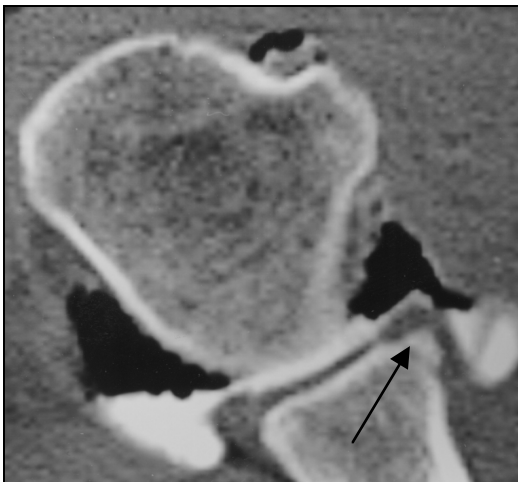
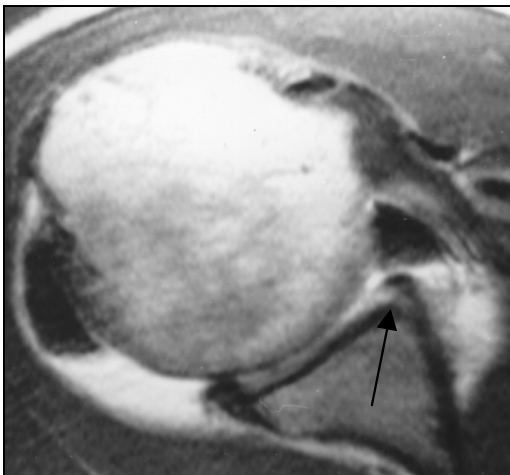


Abbildung 38a zeigt die axiale CT-Arthrographie mit einer vorderen Pfannenrandfraktur mit schmalen Frakturspalt (Pfeil).



In der korrespondierenden MR-Arthrographie (**Abbildung 38b**) ist die Fraktur schlechter abgrenzbar (Pfeil).

4.5.4 Bewertung der anatomischen Strukturen in der CT-Arthrographie und der MR-Arthrographie anhand eines Werteskores

Im Vergleich von CT- und MR-Arthrographie werden beide Methoden in der Abgrenzung der beiden Labra glenoidalia und der Kapselansätze verglichen. Auf der Ordinate sind die Mittelwerte des quantitativen Skores aufgetragen. Ein Stern (*) über den Balken zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied auf ($p < 0,05$).

Bei der Darstellung des vorderen Labrum fand sich eine signifikant bessere Darstellbarkeit in der CT-Arthrographie im Vergleich zur MR-Arthrographie (Werteskore 1,6 versus 1,9). Bei der Abgrenzung des posterioren Labrum war die MRT der CT-Arthrographie überlegen (1,8 versus 2,1).

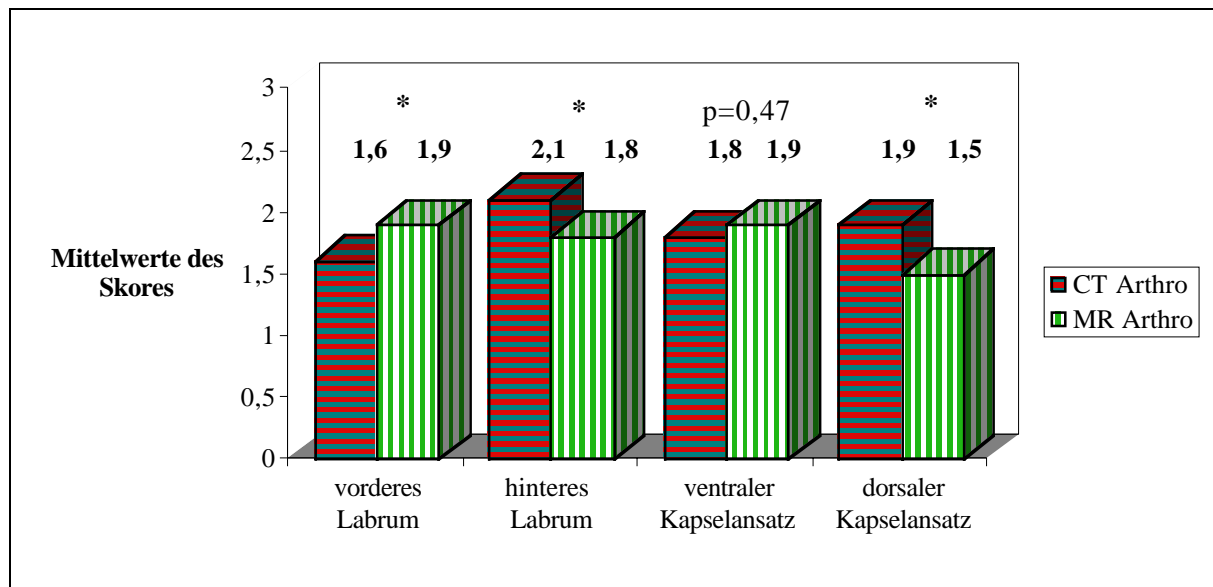


Abb. 39: Vergleich der Darstellung beider Labra und der Kapselansätze in der CT- und MR-Arthrographie

In der Darstellung des ventralen Kapselansatzes fand sich kein signifikanter Unterschied. In beiden Verfahren war der Ansatz bei Werten von 1,8 bzw. 1,9 gut darstellbar. In der Abgrenzung der dorsalen Insertion der Gelenkkapsel war die MR-Arthrographie mit einem Wert von 1,5 versus 1,9 der CT-Arthrographie deutlich überlegen ($p < 0,0004$).

Bezüglich der Kapselansatztypen nach Moseley fand sich folgende Verteilung: (Abb. 40)

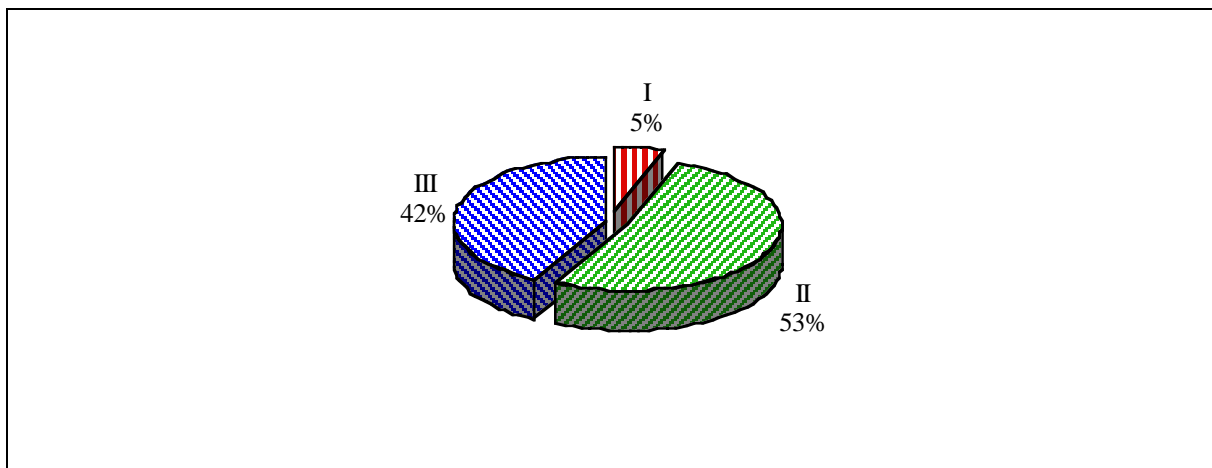


Abb. 40: Kapselansatztypen n. Moseley

Das Überwiegen von Typ II und III ist im Vergleich zum Präparatekollektiv nicht verwunderlich, da es sich bei den Patienten um ein schon selektioniertes Kollektiv handelt, bei dem stattgehabte Luxationen eine Medialisierung der Kapselinsertion zur Folge haben.

Bei der Bewertung des Kontrastes zwischen Knorpel und Knochen der am Gelenk beteiligten Strukturen ergab sich erwartungsgemäß eine bessere Bewertung in der CT-Arthrographie mit Skorewerten von 2,0 versus 2,4 zugunsten der MR-Arthrographie ($p < 0,0017$; Abb. 28). Hingegen war der Kontrast zwischen Knorpelfläche und Gelenkflüssigkeit in der MRT signifikant besser, da die Gelenkflüssigkeit aus Gadolinium enthält und hierdurch eine hohe Signalintensität in der MRT erreicht, wodurch die Auflösung wesentlich verbessert wird.

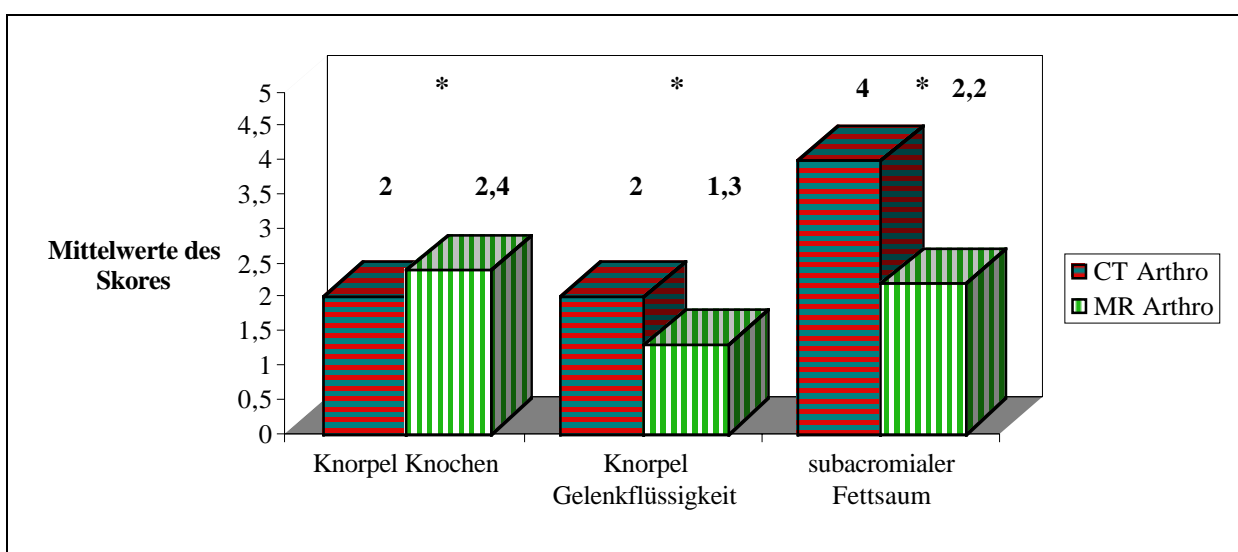
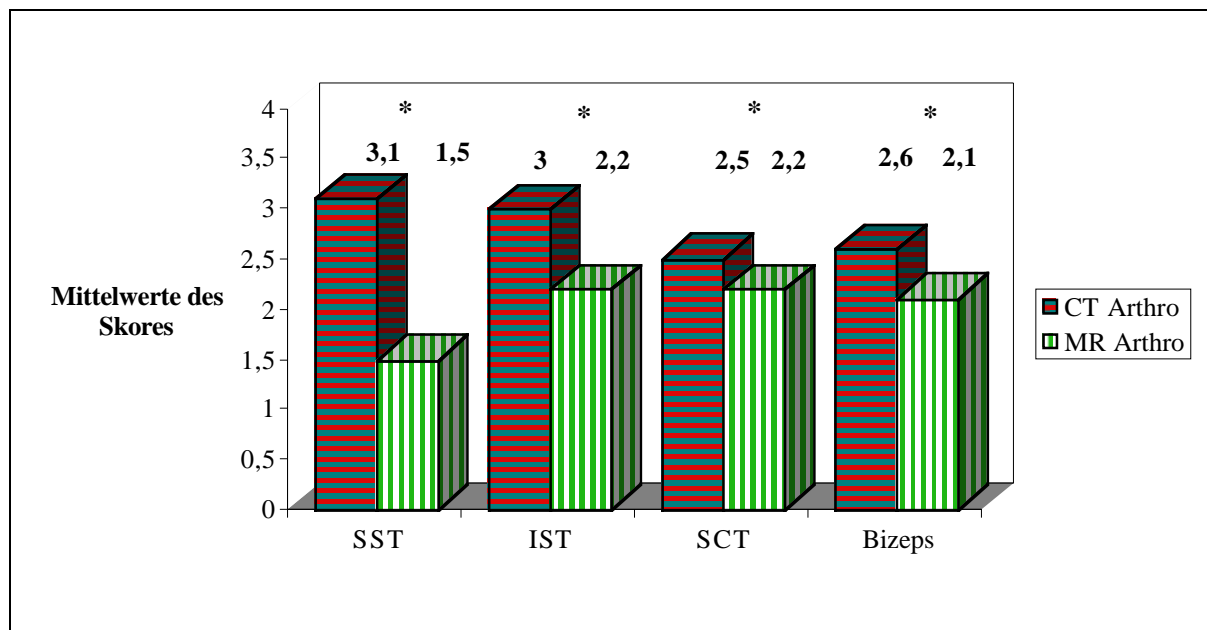


Abb. 41: Vergleich des Kontrastes von Knorpel, Knochen und Fettsaum zwischen CT- und MR-Arthrographie

In der axialen Schnittführung der CT-Arthrographie war der subakromiale Fettstreifen nicht darstellbar, jedoch in der koronaren Orientierung der MR-Schnitte gut mit Skorewerten von 2,2 versus 4,0 der CT-Arthrographie signifikant überlegen ($p < 0,0001$).

Die Abgrenzung der einzelnen Sehnen der Rotatorenmanschette durch die CT-Arthrographie und die MR-Arthrographie ist in Abbildung 42 dargestellt. Entsprechend der variablen Schnittführung war die MRT der CT-Arthrographie in der Darstellung aller vier Sehnen signifikant überlegen.



SST: Supraspinatussehne

IST: Infraspinatussehne

SCT: Subscapularissehne

Biceps: Sehne des M. Biceps brachii

Abb. 42: Abgrenzung der Sehnen der Rotatorenmanschette

Auch die Subscapularissehne war trotz ihres axialen Verlaufes in der MR-Arthrographie im Vorzeichen-Rangtest signifikant besser zu beurteilen als in der CT-Arthrographie, wobei dieser Unterschied im Wilcoxon-Test mit $p=0,06$ nicht signifikant war. Die Darstellung der Bizepssehne war wegen der multiplanaren Abbildungen in der MRT mit Skorewerten von 2,1 gegenüber 2,6 deutlich besser als in der CT-Arthrographie.

4.5.5 Zusammenhang zwischen Kapselansatztyp und klinischer Verdachtsdiagnose

Von den Patienten, die sich wegen rezidivierenden Luxationen vorstellten, hatten 10 eine Typ III-, 9 eine Typ II- und nur zwei eine Typ I -Kapselinsertion. Ein ähnliches Übergewicht der Insertionstypen II und III fand sich bei Patienten mit Verdacht auf eine Labrumläsion, eine Bankart-Fraktur oder einen Hill-Sachs-Defekt (Tab. 5).

		Typ A	Typ B	Typ C	
rezidivierende	Luxationen:	2 (9%)	9 (43%)	10 (48%)	21
Labrumläsion, Bankart- und HS-Defekt		3 (15%)	7 (35%)	10 (50%)	20

Tab. 5: Zusammenhang zwischen klinischer Verdachtsdiagnose und Kapseltyp

4.5.5 Operative Befunde in Arthroskopie und Arthrotomie

Bei der Arthroskopie fanden sich bei 7/38 Patienten keine Läsion des glenoidalen Labrum, bei 21/38 ergab die Arthroskopie einen kompletten Riß und bei 5/38 einen partiellen Riß. Bei 5 Patienten bestanden Degenerationen des Labrums in Form von Auffaserungen, Entrundungen oder Aufweichungen (Abb. 43).

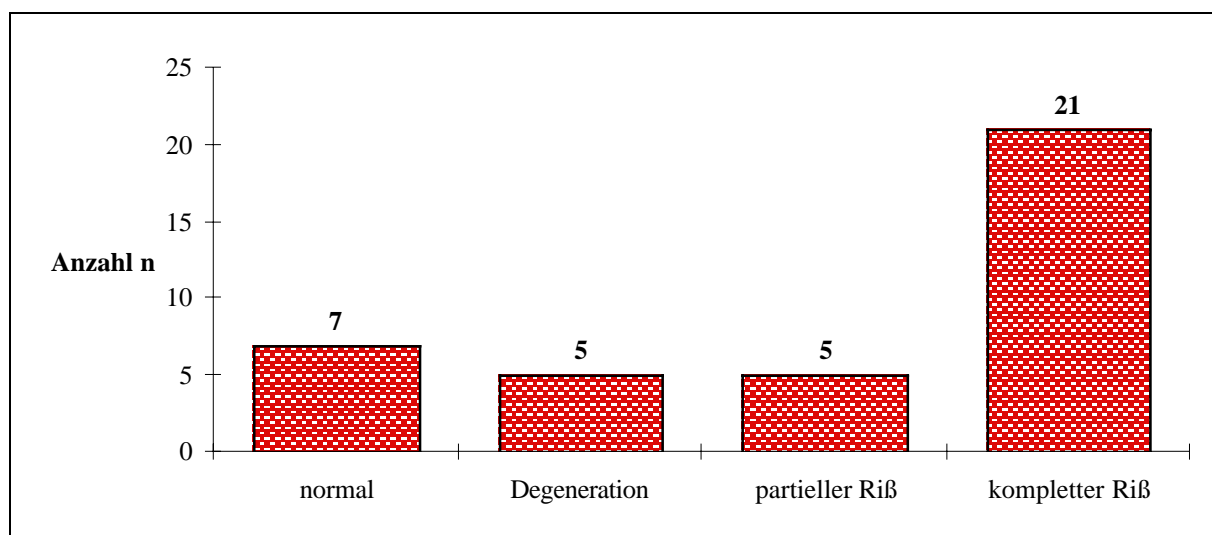


Abb. 43: Arthroscopische Labrumläsionen

Von den 21 Patienten mit einem kompletten Riß im fibrösen Labrum des vorderen Gelenkapparates fand sich bei fünf Patienten eine langstreckige Ablösung, bei drei ein Totaldefekt und bei vier eine zusätzliche Pfannenrandfraktur. Bei 13 Patienten war die Ruptur auf den vorderen und oberen Anteil des Labrums beschränkt. Bei sieben Patienten ging der Riß auf das hintere und untere Labrum über. Eine isolierte Läsion des oberen Labrums fand sich bei drei Patienten, bei weiteren sechs Patienten bestand eine isolierte Ablösung des unteren und hinteren Labrums. Bei zwei Patienten zeigte sich eine komplette Ablösung des Labrums entlang der gesamten Anheftung an der Facies glenoidalis. Bei 5/38 Patienten war der Riß im fibrösen Labrum nur partiell und ging nicht durch die gesamte Basis des Labrum. Bei weiteren 5/38 Patienten fanden sich Auffaserungen, Entrundungen oder Aufweichungen am Labrum, die als Degeneration gewertet wurden. 22/38 Patienten hatten eine typische Hill-Sachs-Läsion, bei einem Patienten fand sich eine Abrißfraktur des Tuberculum majus und ein Patient hatte eine Luxation der Bizepssehne.

4.5.7 Diagnostische Genauigkeit von Arthro-CT und -MR in der Diagnose von Rissen im anterioren Labrum

Zur Beurteilung der Nachweisraten der CT- und MR-Arthrographie diente uns die Arthroskopie als Referenz. Hieraus berechneten wir Sensitivität, Spezifität, positiver wie negativer Vorhersagewert und die Gesamtgenauigkeit. Zugleich wurden Vierfeldertest nach Mc Nemar durchgeführt.

Von den 38 Patienten hatten 26 (68%) einen Riß im vorderen Labrum. Die Tabelle 6 zeigt die jeweiligen Nachweisraten der CT- und MR-Arthrographie mit den zugehörigen arthroskopischen Befunden als Referenz:

	Arthro - CT	Arthro - MR
richtig positiv :	22	23
falsch negativ :	4	3
falsch positiv :	0	0
richtig negativ :	12	12
Sensitivität :	85%	88%
Spezifität :	100%	100%
pos. Vorhersage :	100%	100%
neg. Vorhersage :	75%	80%
Gesamtgenauigkeit:	89%	92%

Tab. 6: Diagnostische Genauigkeit von Arthro-CT und -MR in der Diagnose von vorderen Labrumrissen

In der CT-Arthrographie wurden insgesamt 22/26 Risse im vorderen Labrum richtig diagnostiziert (Sensitivität 85%), in der MR-Arthrographie 23 der 26 Risse (Sensitivität 88%). In der CT-Arthrographie konnten 4/5 der partiellen Risse, 7/10 komplette Risse ohne Dislokation, alle 7 Risse mit Dislokation und alle 4 knöchernen Absprengungen nachgewiesen werden. In der MR-Arthrographie wurden 4/5 der partiellen Risse, 8/10 der dislokationslosen Risse, alle 7 Ablösungen mit Dislokation und auch alle 4 Frakturen des Pfannenrandes

diagnostiziert. Somit waren die Nachweisraten für Labrumläsionen in der CT und der MRT nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,5$, McNemar-Test).

Alle 12 arthroskopisch intakten Labren wurden von beiden bildgebenden Verfahren auch so beurteilt (Spezifität 100%). Die Gesamtgenauigkeit betrug für die CT-Arthrographie 89% und für die MR-Arthrographie 92%. Beide besaßen einen positiven Vorhersagewert von 100%, d.h. bei positivem Befund fand sich auch arthroskopisch ein Riß im Labrum.

Bei Labrumläsionen konnte durch den kombinierten Einsatz beider Methoden die Diagnostik deutlich verbessert werden. Wurde eine vordere Labrumläsion als diagnostiziert gewertet, wenn sie in wenigstens einer der beiden Methoden zu erkennen war, erhöhte sich die Sensitivität auf 100% (CT allein 85%, MRT allein 88%).

4.5.8 Diagnostische Genauigkeit von CT- und MR-Arthrographie bei Rupturen der Rotatorenmanschette

Von den 38 Patienten hatten 15 (39%) eine Ruptur der Rotatorenmanschette. Die Tabelle 7 zeigt die jeweiligen Trefferraten (Sensitivität, Spezifität, positive und negative Vorhersagegenauigkeit) der CT- und der MR-Arthrographie mit den arthroskopisch erhobenen Befunde als Referenzmethode:

	Arthro – CT	Arthro - MR
richtig positiv :	11	15
falsch negativ :	4	0
falsch positiv :	0	0
richtig negativ :	23	23
Sensitivität :	73%	100%
Spezifität :	100%	100%
pos. Vorhersage :	100%	100%
neg. Vorhersage :	85%	100%
Gesamtgenauigkeit:	89%	100%

Tab. 7: Diagn. Genauigkeit von Arthro-CT und -MR in der Diagnose von Rupturen der Rotatorenmanschette

Von den 15 Rupturen wurden in der CT-Arthrographie 11 richtig diagnostiziert (Sensitivität 73%). 8/8 (100%) der totalen Defekte, 2/4 (50%) der kleinen kompletten Rupturen und 1/3 (33%) der partiellen Schichtdefekte werden in der CT-Arthrographie richtig erkannt. In der MR-Arthrographie wurden alle 15 Rupturen unabhängig von Typ oder Ausdehnung richtig diagnostiziert (Sensitivität 100%). Dieser Unterschied war jedoch mit $p=0,0625$ nur grenzwertig signifikant. Beide Untersuchungsmethoden hatten eine Spezifität und einen positiven Vorhersagewert von 100%. Während der negative Vorhersagewert in der CT-Arthrographie 85% betrug, lag er in der MR-Arthro bei 100%. Die Gesamtgenauigkeit im Nachweis von Rupturen der Rotatorenmanschette lag in der CT-Arthrographie bei 89% und in der MR-Arthrographie bei 100%. Einen signifikanten Unterschied mit $p<0,0005$ zeigte sich im Nachweis von degenerativen Veränderungen der Rotatorenmanschette; hierbei konnten in der MRT 11/11 Fälle richtig erkannt werden, während in der CT-Arthrographie keine Sehnendegeneration zu erkennen war.

Eine Kombination aus beiden bildgebenden Verfahren erbrachte keine zusätzliche Information, da in der MR-Arthrographie alle Läsionen der Rotatorenmanschette allein schon erkannt wurden.

4.5.9 Verträglichkeit der kombinierten CT- und MR-Arthrographie

Nach Durchführung der bildgebenden Verfahren wurden alle 32 Patienten nochmals befragt, Unverträglichkeitsreaktion wie Rötung an der Einstichstelle, Juckreiz, Übelkeit, Schwindel oder Exantheme zu erfassen. Jeder der Patienten negierte derartige Symptome direkt im Anschluß an die Untersuchung und bis zu 4 Stunden später. Somit ist unserer Ansicht nach von einer sehr guten Verträglichkeit der Gelenkpunktion sowie der anschließenden CT- und MR-Arthrographie auszugehen.

5 Diskussion

In der diagnostischen Abklärung von Schulter Syndromen sind die konventionelle Röntgenuntersuchung zum Nachweis knöcherner Läsionen und die Sonographie zur Darstellung von Rupturen der Rotatorenmanschette die ersten radiologischen Methoden (Callaghan et al. 1988, Skyhar et al. 1988, Zilch 1989, Wirth et al. 1990, Farin et al. 1990, Hodler et al. 1991, Seeger 1992, Jerosch et al. 1994). CT und MRT haben besondere Vorteile in der nicht invasiven Darstellung der Binnenstrukturen des Gelenkes. Vor allem läßt sich der vordere Kapselapparat untersuchen, der eine zentrale Rolle in Vermeidung von Schulterluxationen spielt (Moseley und Overgaard 1962). Besondere Probleme ergeben sich im Einsatz von CT und MRT am Schultergelenk durch die relativ enge Nachbarschaft zahlreicher Gelenkstrukturen und durch vielfältige anatomische Varianten (Liou et al. 1993, Mc Cauley et al. 1992).

a) Differenzierung von Varianten und Läsionen in der MRT

Für die MRT sind die morphologischen Befunde am hyalinen Knorpel, dem Faserknorpel des Labrums, den Sehnen der Rotatorenmanschette und der Gelenkkapsel bereits von einigen Untersuchern definiert worden und die krankhaften Veränderungen von harmlosen Varianten abgegrenzt worden (Kneeland et al. 1987, Evancho et al. 1988, Seeger et al. 1988, Kieft et al. 1988, Zlatkin et al. 1989, Rafii et al. 1990, Tsai und Zlatkin 1990, Legan et al. 1991, Farley et al. 1992, Vahlensieck et al. 1992 und 1993, Liou et al. 1993).

Am vorderen Kapselapparat sind Struktur- und Formvarianten in der MRT noch ausgeprägter. Neumann u. Mitarb. zeigten 1991 an ihrem Kontingent asymptomatischer Patienten, daß der Faserknorpel des vorderen Labrums nur in 45% die typisch dreieckige Konfiguration aufweist. In 19% ist er gerundet, in 7% abgeflacht, in 15% gelappt, in 8% eingekerbt und kann in 6% sogar abschnittsweise fehlen. Auch der Ansatz der Gelenkkapsel am Pfannenrand stellt sich in der MRT sehr variabel dar. Die Faserzüge der Kapsel können direkt in den Faserknorpel des Labrums übergehen (in 47%) oder unmittelbar hinter dem Labrum am knöchernen Pfannenrand einstrahlen (in 49%). Relativ selten ist der Ansatz am Skapulahals (4%). Die Arbeitsgruppen von Neumann et al. (1991) und Mc Cauley et al. (1992) zeigten an Freiwilligen auch, daß fokale Signalanhebungen im Faserknorpel mit 25% bzw. 27% in der MRT relativ häufig auftreten, ohne daß diesem Befund ein krankhafter Zustand zukommt. Der hyaline Knorpelbelag geht am Glenoid variabel in den Faserknorpel des Labrums über, wobei sich der Knorpel zwischen Knochen und Labrum schieben kann (Tsai und Zlatkin

1990, Heuck et al. 1990, Legan et al. 1991, Liou et al. 1993). Eine komplette Unterminierung des Faserknorpels durch hyalinen Knorpel fanden Liou u. Mitarb. (1993) in 73% der Schultergelenke. Dies ist für die MRT-Diagnostik insofern von Bedeutung, als daß der hyaline Knorpel in T₂-gewichteten Bildern in Folge seines hohen Wassergehaltes so signalreich wie Gelenkflüssigkeit erscheinen kann, während der Faserknorpel des Labrums signalarm bleibt, wodurch ein Spalt bzw. Riß im Labrum simuliert werden kann. Ein besonders diagnostisches Problem bereitet die variable Ausbildung der glenohumeralen Bänder. Bereits Moseley und Overgaard zeigten 1962, daß eines oder mehrere der glenohumeralen Bänder in 25% fehlen können, ein Befund der von Turkel u. Mitarb. (1981) bestätigt wurde. In Einklang mit diesen während einer Schulteroperation erhobenen Befunde zeigten Liou u. Mitarb. (1993) für die MRT, daß bei Gesunden das mittlere und untere glenohumerale Band nur in 85% der Fälle in der MRT eindeutig identifiziert werden und das obere Band nur selten eindeutig dargestellt werden kann. Dies bedeutet, daß aus dem fehlenden Nachweis eines glenohumeralen Bandes in der MRT nicht sofort auf eine Ruptur geschlossen werden kann. Ergänzend zeigten Liou u. Mitarb. (1993) und Chandnani u. Mitarb. (1993), daß sich das mittlere glenohumerale Band relativ eng an des vordere Labrum anlegen kann und so einen Riß des Labrums simulieren kann.

An der Rotatorenmanschette und den angrenzenden periartikulären Strukturen müssen ebenfalls Varianten sicher erkannt werden, um Ursachen für eine Periarthropathia humeroskapularis besser eingrenzen zu können. Heuck u. Mitarb. (1990) untersuchten die Rotatorenmanschette von 32 klinisch gesunden, asymptomatischen Probanden und fanden bei 57% fokale Signalanhebungen in der Supraspinatussehne. Diese Befunde wurden von Neumann u. Mitarb. (1992) bestätigt, die bei 89% der 55 untersuchten Freiwilligen Signalveränderungen in der Sehne nachweisen konnten. Liou u. Mitarb. (1993) fanden sogar in 95% der 60 Probanden fokale Signalanhebungen in der Rotatorenmanschette. Vahlensieck u. Mitarb. (1993) zeigten als eine mögliche Erklärung für fokale Signalveränderungen eine variable Interposition von Fett- oder Bindegewebe in die Supraspinatussehne auf, verursacht durch zwei Muskelbäuche des Supraspinatusmuskels mit jeweils zwei Sehnenanteilen. Drei Arbeitsgruppen befaßten sich mit der variablen Ausbildung des sog. subakromialen Fettstreifens zwischen Akromion und der Rotatorenmanschette. Die Verdünnung oder das Fehlen dieses Fettstreifens in der MRT gilt als wichtiges indirektes Zeichen für den Nachweis von Impingementsyndromen und Rupturen der Rotatorenmanschette. In ihren Probandenkollektiven wiesen Heuck u. Mitarb. (1990) in 30 %, Neumann u. Mitarb. (1992) in 59% und Liou u. Mitarb. (1993) in 95% der Fälle ein fokales bis totales Fehlen des

subakromialen Fettstreifens nach, so daß diesem diagnostischen Kriterium nur eine untergeordnete Bedeutung in der MRT zukommen kann.

Die genannten Studien zeigen die große Variabilität der Gelenkstrukturen der Rotatorenmanschette und des Labrums in der MRT auf. Ein Nachteil dieser Studien ist, daß Patienten mit fehlenden Symptomen in der Anamnese und ohne Befunde in der klinischen Untersuchung zur Beschreibung von Normvarianten herangezogen wurden und keine histopathologische Kontrollen erfolgten. Eine Validierung der Ergebnisse durch Arthrotomie oder Arthroskopie ist daher nicht möglich, wodurch eine Differenzierung der Veränderungen zu den verschiedenen Stadien der Degeneration nicht möglich ist. Bereits Neer (1988) zeigte an der Rotatorenmanschette, daß Degenerationen bereits im mittleren Alter auftreten und viele Jahre klinisch stumm bleiben können. Werden andererseits Studien herangezogen, bei denen Läsionen am Schultergelenk chirurgisch via Arthroskopie oder Arthrotomie kontrolliert wurden, sind zwar Risse leicht zu erkennen, zentrale Strukturveränderungen im bradytrophen Gewebe bleiben aber schwer nachweisbar. Erste vergleichende pathoanatomische Studien an Gelenkpräparaten mit der MRT führten Kjellin u. Mitarb. 1991 durch. Sie fanden, daß Degenerationen von Sehnengewebe der Rotatorenmanschette mit einer erhöhten Signalintensität in der MRT einhergehen. Deutliche Unterschiede bestehen in der Darstellung degenerativer Veränderungen in den verschiedenen Sequenzen: mittelgradige, eosinophile und mucoide Degenerationen waren durch eine Signalanhebung in den Protonengewichteten Sequenzen bei fehlender Signalanhebung in der T_2 -Wichtung charakterisiert. Fortgeschrittene Stadien der Degenerationen waren demgegenüber durch eine intratendinöse Signalanhebung in der T_2 -Wichtung erkennbar (Kjellin et al. 1991). Mirowitz u. Mitarb. (1991) zeigten, daß in der Supraspinatussehne ca. 1-1,5cm vom Ansatz am Tuberkulum majus entfernt eine kritische Zone relativer Avaskularität liegt, die mit verstärkter Degeneration einher geht. Aus den Befunden ist zu schließen, daß eine Degeneration von Sehnengewebe auch ohne Symptome auftreten kann und mit fortschreitendem Alter häufiger wird. Die asymptomatischen Probanden, die von den Autoren Liou et al. , Neumann et al. und Heuck et al. untersucht wurden, hatten mit ca. 30 Jahren ein relativ niedriges Durchschnittsalter. Zu erwarten ist, daß an Gelenkpräparaten von Patienten mit höherem Durchschnittsalter wesentlich höhere Raten an morphologischen Veränderungen auftreten, auch ohne daß die Patienten zu Lebzeiten Beschwerden hatten. Wir haben daher selbst eine Präparatestudie zur Inzidenz von Varianten, degenerativen Veränderungen und Rissen an der Rotatorenmanschette und dem vorderen Kapselapparates an 32 Gelenkpräparaten verstorbener Patienten durchgeführt. In der Interpretation der Ergebnisse müssen dabei Artefakte berücksichtigt werden, die vor allem

durch Flüssigkeitsansammlungen im Gelenkspalt beim Auftauen entstehen (sog. Pseudoarthrographischer Effekt).

Unsere Untersuchung zur Variabilität der Rotatorenmanschette zeigte in 12 Fällen Normalbefunde, in weiteren 12 Fällen degenerative Veränderungen im Sehngewebe der Rotatorenmanschette sowie 8 partielle oder komplette Rupturen. 19 Faserknorpel des vorderen Labrums waren intakt, 6 zeigten ausgeprägte degenerative Veränderungen und 7 hatten partielle oder komplette Risse. Insgesamt zeigt unsere Präparatestudie, daß bei älteren Patienten dieselben Varianten am Labrum, an der Gelenkkapsel und der Rotatorenmanschette gefunden werden können, wobei der Anteil stärker degenerativ veränderter Gelenkstrukturen häufiger ist. So zeigten nur 17% der vorderen Labren die typisch dreieckige Konfiguration, während 60% gerundet oder stark abgeflacht waren und 23% gelappte oder rupturierte Faserknorpel aufwiesen. Entsprechende Aussagen gelten für die Ausbildung des Übergangs vom Labrum zum hyalinen Knorpel und zum Kapselansatz. In unseren Präparaten war in 27% keine, in 33% eine partielle und in 40% eine komplette Unterminierung des Labrums durch hyalinen Gelenkknorpel nachweisbar. Diese Zahlen stimmen somit mit denen an jungen Erwachsenen erhobenen Befunden der Arbeitsgruppe von Neumann, Liou und Heuck überein, so daß es sich bei der Unterminierung des Labrums durch hyalinen Knorpel vermutlich um eine echte anlagebedingte Variante handelt. In unserem Präparatekollektiv befand sich der Ansatz der Gelenkkapsel in 53% direkt auf dem Labrum und in 37% direkt dahinter. In einem einzigen Fall befand sich der Ansatz der Gelenkkapsel ca. 1cm hinter dem Faserknorpel am Scapulahals. Damit ist zu vermuten, daß der distale Ansatz beim Gesunden eine relativ seltene Variante ist.

b) Sequenzvergleich am Gelenkpräparat

In der Diagnostik des Schultergelenks mit der MRT sind bisher viele Sequenzen eingesetzt worden, wobei in unserer Präparatestudie erstmals ein vergleichender Überblick über alle gebräuchlichen Sequenzen am selben Präparat durchgeführt wurde. Ein Standardprotokoll, das auch an unseren Präparaten eingesetzt wurde, besteht aus T₁-, Protonen- und T₂-gewichteten SE-Sequenzen unter Verwendung von Spezialspulen, dünnen Schichten von 3-5mm, Sättigungsschichten und der Off-center-Technik (Kieft et al. 1986, König et al. 1987, Reiser et al. 1988, Bongartz et al. 1989, Vestring et al. 1991, Kreitner et al. 1992, Vahlensieck et al. 1992). Das gesunde Labrum glenoidale kommt in allen Wichtungen homogen und signalfrei zur Darstellung (Kieft et al. 1986, Seeger et al. 1988, Meyer und Dalinka 1990, Heron 1994). Bei Degenerationen erhöht sich das Signal im Labrum, was besonders in der Protonenwichtung markant ist, da die Sequenz sehr sensitiv auf eine mucoide Degeneration

des Fasergewebes bzw. auf einen erhöhten Gehalt an freiem Wasser reagiert. Bei stärkerer Degeneration steigt der Anteil an freiem Wasser weiter an, so daß dann auch die T₂-gewichteten Sequenzen die Gewebsdegeneration als Signalerhöhung sicher darstellt. Weitere Zeichen der Degeneration des Labrums bestehen aus Formveränderungen, wie Abrundung und Lappung des Labrums. Die Kriterien der Formveränderung sind aber sehr unsicher, da das Labrum auch beim Gesunden sehr formvariabel ist (s.o.). Wichtigstes diagnostisches Kriterium zum Nachweis von Labrumrissen ist nach unseren Studien das Eindringen von Gelenkflüssigkeit in das Labrum, wobei der Riß meist an der Basis zwischen Labrum und hyalinem Knorpel liegt. Ein Labrumdefekt läßt auf eine Destruktion schließen, wobei ein segmentales Fehlen des Labrums auch als Variante vorkommen kann (Neumann et al. 1991). Am besten sind Risse im Labrum mit T₂-gewichteten Bildern zu finden, wobei allerdings ein schlechter Kontrast zwischen Knorpel und Gelenkflüssigkeit zu berücksichtigen ist (Seeger et al. 1988). Für die Sehnen der Rotatorenmanschette gelten vergleichbare diagnostische Kriterien. Das gesunde Gewebe ist signalfrei schwarz, die mucoide Degeneration zeigt sich besonders im Protonenbild, weniger gut im T₂-gewichteten Bild und Rupturen sind durch Eintritt von Gelenkflüssigkeit in den Gewebedefekt besonders gut im T₂-gewichteten Bild nachweisbar (Zlatkin et al. 1988, 1990).

Die mit T₁-, Protonen- und T₂-gewichteten SE-Sequenzen erzielten Nachweisraten kompletter Rupturen der Rotatorenmanschette am Patienten liegen in einem Bereich zwischen 80-100% bei einer Spezifität zwischen 88-100% (zusammengefaßt wurden für Ergebnisse von fünf Studien der letzten 10 Jahre: Zlatkin et al. 1989, Rafii et al. 1990, Iannotti et al. 1991, Imhoff et al. 1992, Robertson et al. 1995). Für partielle Rupturen liegen die Nachweisraten mit 13-88% deutlich darunter. Noch weiter streuen die Ergebnisse der MRT bezüglich Sensitivität und Spezifität in der Diagnostik von Labrumläsionen, wobei die Sensitivität zwischen 33-88% und die Spezifität zwischen 67-100% liegt (zusammengefaßt sind die Ergebnisse aus acht klinisch kontrollierten Patientenstudien: Kieft et al. 1988, Seeger et al. 1988, Legan et al. 1991, Garneau et al. 1991, Iannotti et al. 1991, Kreitner et al. 1992, Chandnani et al. 1993, Runkel et al. 1993). Die Gründe für die stark schwankenden Nachweisraten von Schulterläsionen in der MRT liegen in unterschiedlichen apparativen Ausstattungen der Untersucher und in unterschiedlichen Selektionskriterien begründet. So wurden Studien an Geräten mit 0,3T (Seeger et al. 1988), 0,5T (Kieft et al. 1988, Runkel et al. 1993), 1,0T (Legan et al. 1991) und 1,5T (Garneau et al. 1991) durchgeführt. Kontrastverhalten und Rauschen zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Feldstärke (besserer T₁-Kontrast bei niedriger Feldstärke, geringeres Rauschen mit besserer Auflösung bei höheren Feldstärken),

so daß eine starke Abhängigkeit der Nachweisraten von der Feldstärke zu vermuten ist. In den klinischen Studien wurden die Befunde meistens durch die Arthrotomie überprüft, wobei durch die Indikationsstellung zum chirurgischen Eingriff diejenigen Patienten mit größeren Defekten am Labrum oder der Rotatorenmanschette bevorzugt wurden, so daß eine höhere Sensitivität resultieren muß. Werden nur komplette Risse am Labrum oder der Rotatorenmanschette untersucht, wofür relativ eindeutige diagnostische Kriterien in der MRT zur Verfügung stehen, wird die diagnostische Sensitivität deutlich höher liegen als bei Einschluß der partiellen Risse, wofür die diagnostischen Kriterien wesentlich unschärfer definiert sind. Um die Nachteile einer Vorselektion zu vermeiden, wurden unselektionierte Gelenkpräparate mit natürlich entstandenen Gelenkläsionen untersucht. Der Sequenzvergleich erfolgte am gleichen 1,5T-Gerät, wobei der Sequenzvergleich am selben Präparat mit unveränderten Gelenkstrukturen bzw. Läsionen durchgeführt wurde.

Um die Untersuchungsdauer zu verkürzen, haben wir auch die schnellen Turbo-Sequenzen im Vergleich zu den Standard-Spinecho (SE)-Sequenzen am Schulterpräparat getestet. Es bestand eine gleich gute Darstellbarkeit von Gelenkstrukturen und Läsionen am Labrum und an der Rotatorenmanschette, so daß kein diagnostischer Nachteil der Turbo-SE-Sequenzen gegenüber der Standard T_2 -Sequenzen in der Schulterdiagnostik bestand. Unterlegen waren aber die fettunterdrückten SE-Sequenzen gegenüber den nicht supprimierenden SE-Sequenzen, so daß diese nicht zu empfehlen sind. Der MTC ist eine Spezialsequenz für die Knorpeldiagnostik, da sie selektiv den Kontrast zwischen hyalinem Knorpelbelag und der Gelenkflüssigkeit in Verbindung mit schwach T_2 -gewichteten Gradientenecho (GE)-Sequenzen verbessert. Die Technik hat in der Darstellung des vorderen Kapselapparates und der Rotatorenmanschette keine diagnostischen Vorteile gegenüber den SE-Sequenzen. Vereinzelt wurden auch FLASH-Sequenzen in 2D- oder 3D-Akquisition in der Schulterdiagnostik eingesetzt, die am Patienten den SE-Sequenzen vergleichbare Nachweisraten hatten (Munk et al. 1989, Holt et al. 1990, Vahlensieck et al. 1992). Die Ergebnisse am Gelenkpräparat zeigen insgesamt, daß komplette Defekte der Rotatorenmanschette und des Labrums mit den Standard- oder schnellen Turbo-SE-Sequenzen zuverlässig zu diagnostizieren sind, während partielle Defekte schwierig zu erkennen sind. Gegenüber den SE-Sequenzen zeigen neuere Techniken, wie FLASH-Sequenzen, 3D-Akquisition, Fettsuppression und MTC keinen meßbaren diagnostischen Gewinn am Schultergelenk.

Einen eindeutigen diagnostischen Gewinn brachte die MR-Arthrographie. Eine Verbesserung der Nachweisrate gegenüber allen bisherigen Techniken war sowohl für Läsionen der Rotatorenmanschette als auch des Labrums zu erzielen. Durch die Präsenz des intraartikulären Gadoliniums konnten viele Strukturen in ihrem Verlauf und in ihrer Integrität besser dargestellt werden als in der konventionellen MR-Untersuchung. Keine Gelenkstruktur wurde in der MR-Arthrographie schlechter beurteilt als mit der Durchschnittsnote von 2,7 (Infraspinatussehne); 77% der anatomischen Strukturen wurden mit einem Durchschnitt von ≤ 2 bewertet. Vor allem im Nachweis von kleinen kompletten und partiellen Defekten der Rotatorenmanschette war die MR-Arthrographie der konventionellen MR-Untersuchung überlegen. Circa 50% (3/6) der partiellen Rupturen wurden mit der MR-Arthrographie eindeutig erkannt, jedoch nur 17% (1/6) in den konventionellen Techniken. Karzel u. Mitarb. (65) berichten über eine Sensitivität von 66% für die konventionelle MR-Darstellung und von 81% in der MR-Arthrographie. Die Spezifität lag in unserer Präparatestudie für native Sequenzen, wie für die MR-Arthrographie bei 81%. Betrachtet man alle Defekte der Rotatorenmanschette, ergibt sich eine Sensitivität für die native MRT von 50% und für die MR-Arthrographie von 70%. Karzel u. Mitarb. fanden bei der nativen MRT eine Spezifität von 89% und eine Gesamtgenauigkeit von 78%; in der MR-Arthrographie lag die Spezifität bei 94% und die Genauigkeit bei 88%. In unseren Untersuchungen kamen wir auf eine Genauigkeit von 72% (native MRT), respektive 78% (MR-Arthrographie). Kleine Einrisse des Labrums wurden oft nur durch das Eindringen von Kontrastmittel in das Labrum in der MR-Arthrographie erkannt, während komplette Ablösungen auch in den T₂-gewichteten nativen Sequenzen zuverlässig nachweisbar waren, wenn genug Gelenkflüssigkeit im Gelenk vorhanden war. Wir erzielten bei Labrumläsionen in der konventionellen MRT eine Sensitivität von 43%, in der MR-Arthrographie von 70%. Die Spezifität betrug 78% für die native wie arthrographische Technik. Die Gesamtgenauigkeit lag bei 53% (native Sequenzen) bzw. bei 72% (MR-Arthrographie).

Die drei entscheidenden Vorteile der MR-Arthrographie sind verbesserter Binnenkontrast durch das eingebrachte Kontrastmittel, die hohe Auflösung durch Einsatz von T₁-gewichteten SE-Sequenzen mit feiner 512er Matrix und die Distension der Gelenkstrukturen durch das Einbringen zusätzlicher Flüssigkeit in das Gelenkkavum. Die Nachteile der Methode liegen in der Invasivität, dem Fehlen eines T₂-Kontrastes und der bisher noch nicht vorliegenden Zulassung des Kontrastmittels für die intraartikuläre Applikation. Die eigenen Präparatestudien stehen in Einklang mit klinisch orientierten Studien an Patienten, die mit der MR-Arthrographie untersucht wurden. Sie zeigen eine deutlich verbesserte Sensitivität und

Spezifität für Läsionen der Rotatorenmanschette wie für die Labrumdefekte nach Luxation im Vergleich zu den Standardtechniken der MRT (Hajek et al. 1987, Flannigan et al. 1990, Chandnani et al. 1993, Kreitner et al. 1994, Tierman et al. 1994). Die Präparatestudie stellte zudem heraus, daß auch fettunterdrückte SE-Sequenzen in Verbindung mit der MR-Arthrographie zusätzliche Informationen bringen kann. Prinzipielle Vorteile der Fettsuppression sind der verbesserte Weichteilkontrast und die Reduktion von Bewegungsartefakten am Patienten (Mirowitz et al. 1991). Fritz und Mitarb. (33) und Vahlensieck und Mitarb. (168) fanden eine verbesserte Unterscheidung zwischen dem subakromialen Fettstreifen und dort vorhandener Flüssigkeit, so daß Rupturen der Rotatorenmanschette besser zu erkennen sind.

In klinisch kontrollierten Studien wird die MRT meist mit der Arthroskopie verglichen, die als Goldstandard in der Gelenkdiagnostik gilt (Karzel und Snyder 1993). Bei Gelenkpräparaten wird die MRT meist direkt mit dem makroskopischen oder histologischen Befund korreliert (Mitchell et al. 1988, Zlatkin et al. 1988, Kjellin et al. 1991, Schlepckow et al. 1993). Hajek u. Mitarb. untersuchten die MR-Arthrographie an artifiziell gesetzten Gelenkläsionen (41). Durch den Dreiecksvergleich der MRT mit Arthroskopie und Histologie konnte in unserer Studie parallel auch die Arthroskopie mit seinen Vor- und Nachteilen überprüft werden. Ein Problem der Arthroskopie ist, daß nur die gelenkseitig vorhandenen Läsionen der Rotatorenmanschette zu erkennen sind und intratendinöse Läsionen nicht zugänglich sind (Harcke et al. 1988, Mitchell et al. 1988, Zlatkin et al. 1988, Zlatkin und Falchhook 1994). So wurden alle arthroskopisch diagnostizierten komplette Risse in der Histologie bestätigt. In sechs Fällen wurde arthroskopisch eine partielle Ruptur angenommen, wobei histologisch in zwei Fällen die Ruptur aber komplett war. In der MR-Arthrographie war in diesen beiden Präparaten mit kompletter Ruptur auch nur ein partieller Defekt gesehen worden.

c) Vergleich von CT-Arthrographie und MR-Arthrographie am Patienten

In der vorangegangenen Präparatestudie an Schultergelenken konnte die diagnostische Überlegenheit der MR-Arthrographie gegenüber anderen Sequenzen in der Diagnostik von Läsionen des vorderen Kapselapparates und der Rotatorenmanschette aufgezeigt werden. Neben allgemeinen Vorteilen (hohe Auflösung, guter Binnenkontrast, Distension von Gelenkstrukturen) spricht für den Einsatz der arthrographischen Techniken am Schultergelenk weiterhin, daß mit dem Eintritt von Kontrastmittel in Spalten von Labrum und Rotatorenmanschette ein zusätzliches spezifisches diagnostisches Kriterium für den Nachweis

von Rupturen von Labrum und Rotatorenmanschette gegeben ist (Hajek et al. 1987, Hodler et al. 1992, Chandnani et al. 1993). Der wesentlichste Einwand gegen den routinemäßigen klinischen Einsatz der MR-Arthrographie am Patienten liegt in der Invasivität der Methode, wobei das Punktionsrisiko selbst und mögliche toxische Reaktionen des intrakavitär eingebrachten Kontrastmittels zu beachten sind. Das Punktionsrisiko entspricht dem der konventionellen Arthrographie der Schulter, vorausgesetzt, daß Punktion und Injektion des Kontrastmittels unter den gleichen Sicherheitskautele erfolgen wie in der seit Jahrzehnten praktizierten konventionellen Technik. Dies bedeutet, daß das Kontrastmittel unter Röntgenkontrolle in das Gelenk injiziert werden muß und Kontrollaufnahmen auf dem Röntgentisch notwendig sind. Dann ist mit Komplikationen, meist handelt es sich um Schmerzreaktionen durch chemische Synovitiden, vasovagale Reaktionen oder Hautallergien in der Größenordnung von 0,3% zu rechnen. Newberg u. Mitarb. (1985) fanden in einer großen Sammelstudie unter 120000 Arthrographien insgesamt nur 318 Komplikationen. Das Kontrastmittel Gd-DTPA (Magnevist®, Schering) ist bisher noch nicht für die MR-Arthrographie zugelassen, so daß deren Anwendung am Menschen noch klinisch orientierten Studien vorbehalten bleiben muß. Diese werden seit über 10 Jahren an zahlreichen radiologischen Zentren durchgeführt und haben bisher keine lokal toxische oder systemische Wirkung aufgezeigt. Dies liegt zum einen daran, daß das Kontrastmittel vor Injektion hoch verdünnt wird (ca. 1:100, bzw. 1:200). Zum anderen liegen die im Gelenk erzielten Konzentrationen in der Größenordnung der Konzentration, wie sie in Tumoren oder Entzündungsprozessen nach intravenöser Applikation erreicht werden. Darüber hinaus scheidet die Synovialmembran der Gelenke auch intravenös appliziertes Kontrastmittel in das Gelenkkavum aus und konzentriert es in einen Bereich, der auch bei intraartikulären Injektion angestrebt wird. Der physiologische Effekt der Konzentration im Gelenkspalt kann durch standardisierte und forcierte Gelenkbewegung noch verstärkt werden und wird dann in der sog. indirekten MR-Arthrographie zur gezielten Kontrastierung der Binnenstrukturen eingesetzt (Vahlensieck et al. 1993 und 1995). Weitere Anforderungen an ein Kontrastmittel für die MR-Arthrographie sind eine schnelle Ausscheidung aus dem Gelenkkavum nach der Untersuchung, fehlender Metabolismus, keine Bindung an Gelenkstrukturen, ausbleibende Toxizität und fehlendes Eindringen in Knorpel und Gelenkkapsel. Diese Anforderungen sind bereits durch experimentelle Studien an Gelenkpräparaten und am Tier sichergestellt worden (Hajek et al. 1987 und 1990).

In zahlreichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß in der Diagnostik von Labrumläsionen mit allen drei Schnittbildverfahren (konventionelle MRT, CT-Arthrographie

und MR-Arthrographie) hohe Nachweisraten zu erzielen sind. In den axialen T₁- und T₂-gewichteten Bildern der konventionellen MRT können das vordere Labrum, der Kapselansatz und die glenohumeralen Bändern zuverlässig beurteilt werden (Huber et al. 1986, Kieft et al. 1986, Zlatkin et al. 1988, Neumann et al. 1991). Die Sensitivität der konventionellen MRT für den Nachweis von Labrumrissen liegt zwischen 80-100%, die Spezifität zwischen 88-100% (Evancho et al. 1988, Zlatkin et al. 1989, Burk et al. 1989, Rafii et al. 1990, Iannotti et al. 1991, Imhoff et al. 1992, Robertson et al. 1995). Der wesentliche Nachteil der konventionellen Untersuchungstechniken liegt vor allem in der Notwendigkeit eines ausreichenden Gelenkergusses, der die Gelenkkapsel vom Labrum abhebt und die Labrum- und Kapselstrukturen demaskiert (Kreitner et al. 1992). MRT-Untersuchungen sind daher nur nach akuten traumatischen Gelenkluxationen effektiv, während die Sensitivität in der chronischen Phase oder bei habituellen Instabilitäten reduziert ist (Kreitner et al. 1992). Für einen hohen Binnenkontrast sind T₂-gewichtete SE-Sequenzen notwendig, die einen reduzierten Signal-Rauschabstand haben, welcher mit schlechterer Auflösung einhergeht. Die CT-Arthrographie gilt als Standard in der Abklärung von Läsionen des vorderen Kapselapparates (Shuman et al. 1983, Rafii et al. 1986, Singson et al. 1987, Mc Niesh et al. 1987, Kreitner et al. 1990). Die in Studien mit großen Patientenkollektiven (Singson et al. mit 54 Patienten, Wilson et al. mit 102 Patienten, Kreitner et al. mit 40 Patienten) gefundenen Nachweisraten liegen zwischen 80 und 100%, die Spezifität zwischen 97 und 100%. Weitere Untersuchungen verglichen die konventionelle MRT mit der CT-Arthrographie, wobei eine abschließende Bewertung zugunsten einer der beiden Methoden nicht möglich war. Imhoff und Mitarb. (1992) untersuchten 24 Patienten mit der CT-Arthrographie und 40 mit konventioneller MRT. Für die MRT wurde eine Sensitivität von 69% und Spezifität von 100% bestimmt, für die CT-Arthrographie von 95% und von 50%. Kreitner und Mitarb. (1992) untersuchten 27 Schultergelenke mit MRT und CT-Arthrographie. Die Sensitivität der MRT für Labrumdefekte betrug 94%, die der CT-Arthrographie 96%. Die Spezifität war mit 96% für beide Methoden gleich. Bei Chandnani und Mitarb. (1993) schnitt die konventionelle MRT besser als die CT-Arthrographie ab. Risse im Labrum wurden in der MRT in 93% gegenüber 73% in der CT-Arthrographie nachgewiesen. Für Ablösungen lagen die Zahlen für den Nachweis bei 46% (MRT) und 52% (CT-Arthrographie). In der MR-Arthrographie werden die Vorteile der konventionellen MRT (hoher Gewebekontrast, Multiplanarität der Darstellung) und der CT-Arthrographie (hoher Binnenkontrast, Distension der Binnenstrukturen) in einer Methode vereint. Mehrere klinische Studien untersuchten die MR-Arthrographie (Flannigan et al. 1990, Kumagai et al. 1991, Palmer et al. 1994). Flannigan und Mitarb. (1990) konnten alle neun Labrumläsionen in der MR-Arthrographie nachweisen, in

der konventionellen MRT nur sechs. Über den Nachweis labraler Läsionen publizierten Palmer und Mitarb. 1994 eine größere Studie mit 48 Patienten. Sie erreichten mit der MR-Arthrographie eine Sensitivität von 91% und eine Spezifität von 93%. Ein Vergleich von konventioneller MRT mit der MR-Arthrographie zeigt in allen Studien eine Überlegenheit der MR-Arthrographie. Kreitner u. Mitarb. (1994) untersuchten 37 Patienten konsekutiv mit der MRT und MR-Arthrographie und konnten in 11/22 Fällen eine bessere Darstellung der Labrumdefekte durch die arthrographische Technik erreichen. In zwei Fällen war ein Labrumriß ausschließlich in der MR-Arthrographie nachweisbar. In einer Untersuchung an 72 Patienten mit Labrumdefekten verglichen Chandnani und Mitarb. (1993) alle drei Schnittbildverfahren (MRT, CT-Arthrographie und MR-Arthrographie), wobei 28 Patienten mit Labrumrissen, 26 mit Ablösungen und 18 mit Degenerationen untersucht wurden. Die Nachweisraten für Rupturen betrugen 93% für die MRT, 96% für die MR-Arthrographie und 73% für die CT-Arthrographie. Für Ablösungen des Labrums lagen die Nachweisraten bei 46% (MRT), 96% (MR-Arthrographie) und 52% (CT-Arthrographie). Folglich war nach Chandnani u. Mitarb. nicht nur die MR-Arthrographie der CT-Arthrographie im Nachweis von Labrumläsionen überlegen, sondern auch die konventionelle MRT der CT-Arthrographie. Die schwierige Darstellung von Läsionen des Labrum im unteren und oberen Quadranten mittels axialer CT-Schichten und der bessere Weichteilkontrast in der MRT sahen die Untersucher als wesentliche Limitationen der CT-Arthrographie an.

Nicht nur hohe Nachweisraten spielen bei der klinischen Akzeptanz einer neuen, aufwendigen Schnittbilddiagnostik eine Rolle. Invasivität, Verträglichkeit, Verfügbarkeit, Erfassung von Nebenfunden und Definition der weiteren Therapie stellen wesentliche Voraussetzungen zur Einführung in die klinische Praxis dar (Jerosch et al. 1994). In der Behandlung von Schulterinstabilitäten stehen zahlreiche konservative und operative Verfahren zur Verfügung, deren Indikationen von Typ und Ausdehnung der Gelenkläsionen und vom klinisch-anamnestischen Befund abhängen (Habermeyer 1988, Jerosch 1994). Bei atraumatischen und multidirektionalen Instabilitäten ist die konservative Therapie in bis zu 70% der Fälle erfolgreich (Rochwood 1985, Gerber et al. 1986). Erst bei Versagen wird eine Arthrotomie notwendig (Operation nach Putti-Platt oder "inferior capsular shift" nach Neer). Nach erstmaliger traumatischer vorderer Schulterluxation wird zunächst ebenfalls ein konservativer Therapieversuch unternommen. Jedoch wird bei knöchernen Verletzungen eine operative Sanierung angestrebt. Die Bankart-Operation stellt das am häufigsten durchgeführte operative Vorgehen bei rezidivierenden ventralen Luxationen dar (Jerosch 1994). Neben mehrfach modifizierten offenen Techniken wurde auch ein rein transarthroskopischer Weg in Form der transglenoidalen Nahtrefixation nach Caspari entwickelt (Caspari 1988), deren Vorteile in

einer geringeren Invasivität, Narbenbildung und kürzeren Rekonvaleszenz liegen. Klinisch sind Typ und Ausdehnung der Gelenkverletzungen schwer bestimmbar. Daher wird bei glenohumeraler Instabilität an vielen Kliniken zunächst eine diagnostische Arthroskopie durchgeführt und die weitere Therapie in gleicher Sitzung fortgeführt. Von der CT- und MR-Arthrographie ist daher zu fordern, daß die Therapie anhand bestimmter Kriterien in Richtung konservatives oder operatives Vorgehen bestimmt werden kann. Hierdurch sollten rein diagnostische Arthroskopien zur Festlegung des chirurgischen Vorgehens vermieden werden. Beide Schnittbildmethoden waren exakt in der Diagnostik von schweren Binnenläsionen, wie Labrumläsionen und Rupturen der Rotatorenmanschette, so daß die Patienten für die operative Therapie sicher von denen für die alleinige konservative Therapie zu trennen waren. Bei vorhandener Operationsindikation konnte die MR-Arthrographie das weitere Vorgehen hinsichtlich arthroskopischer oder offener Therapie besser definieren, da die Ausdehnung von Labrumrissen über die Quadranten genauer darstellbar war. In Zukunft sollten durch Verbesserungen der MR-Arthrographie, insbesondere der Einsatz von hochauflösender Bildmatrix und der 3D-Technik, schwierig zu erfassende morphologische Befunde besser zu bestimmen und das weitere Procedere für den behandelnden Arzt exakter zu planen sein.

Eine Limitation der Studie liegt in der Verwendung einer einheitlichen Doppelkontrasttechnik für CT- und MR-Arthrographie; dies war jedoch notwendig, um mit einer einzigen Gelenkpunktion auskommen zu können. Die CT-Arthrographie wird meist im Doppelkontrast durchgeführt. Das Problem der intraartikulären Luftinjektion liegt bei der MRT in möglichen Suszeptibilitätsartefakten an den Übergängen von Luft zu Gewebe. Werden aber SE-Sequenzen mit dünnen Schichten und feiner Matrix verwendet, werden diese Artefakte soweit reduziert, daß auch mit der Doppelkontrasttechnik Bilder mit guter Darstellbarkeit der Labrumstrukturen zu erzielen sind. GE-Sequenzen dürfen nicht in Verbindung mit dem Doppelkontrast verwendet werden, da sie große Artefakte an den Grenzzonen von Luft und Kontrastmittel erzeugen.

In unseren Studie waren CT-Arthrographie und MR-Arthrographie im Nachweis von Läsionen am ventralen und dorsalen Labrum gleichwertig. Ein Vorteil der MR-Arthrographie lag in der Darstellung von Läsionen am unteren und oberen Labrum. Auch konnten weitere therapierelevante Befunde am Schultergelenk in der MR-Arthrographie besser dargestellt werden. In Einklang mit Traughber u. Mitarb. (1992) wurden kleine komplette oder partielle Rupturen an der Rotatorenmanschette besser erfaßt. Dies war durch wählbaren Schnittebenen und den besseren Weichteilkontrast nicht unerwartet. Knorpelige oder knöcherne Läsionen

sind in der MRT sicher zu erfassen, jedoch kann durch die CT-Arthrographie der Schweregrad besser beurteilt werden und die Läsion wird kontrastierter dargestellt (Kreitner et al.1992).

6 Zusammenfassung

Die Zahl der in der Literatur vorgeschlagenen Sequenzen und Techniken zur Schulteruntersuchung ist nahezu unüberschaubar, wobei ein objektiver Sequenzvergleich der Techniken durch unterschiedliche Patientenauswahl, Untersuchungsbedingungen und Auswertekriterien erschwert ist. Um das bestehende Wirrwarr der Techniken zu ordnen und Empfehlungen für die praktische Anwendung zu geben, wurden in einer Präparatestudie insgesamt 10 etablierte und allgemein übliche Sequenzen miteinander verglichen und die Ergebnisse mit arthroskopischen und histopathologischen Befunden korreliert. In der folgenden klinischen Patientenstudie konnten die Resultate berücksichtigt werden, wobei die MR-Arthrographie mit der bisher allgemein empfohlenen CT-Arthrographie verglichen wurde.

An jedem der 32 unselektionierten Gelenkpräparate wurden sieben konventionelle und drei arthrographische Sequenzen unter standardisierten Bedingungen miteinander verglichen, wobei am Patienten übliche Einstellparameter gewählt wurden. Die Präparate bestanden aus Humeruskopf, Skapulahals und Gelenkkapsel und wurden in einem 1,5T Gerät in einer Doppel-Helmholtz-Spule untersucht. Die relativ hohe Zahl an Gelenken garantierte dabei eine ausreichend hohe Anzahl an degenerativen Erkrankungen des vorderen Kapselapparates, der Rotatorenmanschette (RM) und anderer Gelenkstrukturen, so daß Trefferarten (Sensitivität, Spezifität, Vorhersagewerte und Gesamtgenauigkeit) berechnet werden konnten. Als Standard diente jeweils die Arthroskopie und die histopathologische Untersuchung. Die Qualität jeder Sequenz wurde zudem anhand eines vierstufigen Werteskores beurteilt, wobei Kontrast, Auflösung und Konturschärfe für normale und pathologische Gelenkstrukturen (Sehnen, Kapselapparat, Knorpel und Knochen etc.) bewertet wurden.

Degenerative Veränderungen der RM (12 Fälle) wurden am besten mit der protonengewichteten SE-Sequenz diagnostiziert (in 11/12 Fällen), während die SE-Sequenzen und die MR-Arthrographie nur die Hälfte der Befunde darstellten. Bei den Rupturen der RM wurden alle 8 Fälle in der T₂-gew. SE-Sequenz und in der MR-Arthrographie gesehen. Die Turbo-SE-Sequenzen waren den klassischen SE-Sequenzen im Nachweis von kleinen Rissen unterlegen (75% vs. 100%). Bei den Labrumrissen schnitt die MR-Arthrographie am besten ab und konnte 10/13 Fälle dokumentieren. Häufig wurden Form- und Strukturvarianten gesehen, ohne daß in der Histologie pathologische Gewebsveränderungen gesichert wurden. Streifenförmige Signalerhöhungen in den Sehnen der RM traten in 17/32 Präparaten auf, ein

gerundetes Labrum war in 20/32 Fällen nachweisbar, eine teilweise oder vollständige Unterminierung des Labrums durch hyalinen Knorpel wurde in 16/32 bzw. 2/32 Fällen registriert. Im subjektiven Sequenzvergleich hatten die arthrographischen Techniken deutlich bessere Skorewerte als die nativen Sequenzen. Die arthrographischen Techniken vereinten die Vorteile einer hohen Auflösung infolge feiner Bildmatrix und besserem Signal-Rauschabstand und eines besseren Kontrastes infolge des intraartikulär eingebrachten Kontrastmittels.

Der klinische Vergleich zwischen der MR-Arthrographie und CT-Arthrographie wurde an 38 Patienten mit glenohumeraler Instabilität durchgeführt. Nach einmaliger Gelenkpunktion unter Röntgendurchleuchtung wurden die Kontrastmittel für beide Methoden zusammen mit Luft (Doppelkontrast) injiziert und dann der Patient innerhalb von 45 Minuten mit der CT und der MRT untersucht. Die Verträglichkeit der Untersuchung und die Kontrastierung des Gelenkbinnenraumes wurden registriert. Anhand von definierten morphologischen Kriterien wurden die Nachweisraten für Läsionen des vorderen Kapselapparates, der Rotatorenmanschette und weiterer Gelenkstrukturen für CT und MR-Arthrographie berechnet, wobei der intraoperative Befund jeweils der Vergleichsstandard war. Zugleich wurde ein subjektiver Vergleich beider Methoden vorgenommen, indem Noten für Auflösung und Kontrast in der Darstellung des vorderen Kapselapparates, der Rotatorenmanschette u.a. Strukturen vergeben und Durchschnittsnoten berechnet wurden.

In der Diagnostik von Labrumläsionen (26 Fälle) ergab sich für die CT-Arthrographie eine Sensitivität von 85% und für die MR-Arthrographie von 88%. Durch die Kombination beider Methoden erhöhte sich die Sensitivität auf 100%. Rupturen der Rotatorenmanschette wurden in der CT in 73% und in der MRT in 100% gesehen. Durch die Kombination beider Methoden war kein diagnostischer Gewinn zu erzielen, da alle Läsionen der Rotatorenmanschette durch die MRT auch allein zu diagnostizieren waren. In der subjektiven Bewertung hatte die MR-Arthrographie Vorteile in der Darstellung kleiner Risse, die an der Rotatorenmanschette und am oberen und unteren Labrum lokalisiert waren. Die MRT stellte sich als umfassende diagnostische Methode in der Beurteilung des Gesamtgelenkes dar, was vor allem durch die multiplanare Schnittführung der MRT gegenüber der nur axialen Darstellung in der CT begründet war. Die CT-Arthrographie war eine speziell für die Untersuchung des vorderen und hinteren Labrums geeignet und bot eine kontrastreichere Darstellung von Frakturen.

Die Studien am Gelenkpräparat und am Patienten zeigten, daß die MR-Arthrographie den konventionellen Sequenzen in fast allen Bereichen der Schulterdiagnostik überlegen ist, so daß sie weiter an Bedeutung gewinnen wird. Technische Verbesserungen der MR-Diagnostik ergeben sich durch die Kombination von feiner Bildmatrix, dünnen Schichten und selektiver Kontrastanhebung. Ein Nachteil der MR-Arthrographie liegt in ihrer Invasivität, da eine röntgenkontrollierte Gelenkpunktion unter sterilen Kautelen notwendig ist. Zukünftige technische Entwicklungen in der MRT lassen erwarten, daß durch hochauflösende Sequenzen mit selektivem Kontrast der Gelenkflüssigkeit oder durch die indirekte MR-Arthrographie möglicherweise ganz auf Gelenkpunktionen verzichtet werden kann.

7 Literatur

- 1 Andrews, JR.: Glenoid labrum tears related to the long head of the biceps. Am J Sports Med; 13 (1985): 337-41
- 2 Balvanyossy, P.: Die statischen Stabilisatoren des Schultergelenkes. Unfallchirurg; 93 (1990): 27-31
- 3 Bankart, ASB.: The pathology and treatment of recurrent dislocation of the shoulder joint. Br J Surg; 26 (1938): 23-9
- 4 Beltran, J., Chandnani, V., McGhee, RA. Jr., Kursunoglu-Brahme, S.: Gadopentetate dimeglumine-enhanced MR imaging of the musculoskeletal system. Am J Roentgenol; 156 (1991): 457-466
- 5 Beyer, D., Steinbrich W., Krestin G., Koebke J., Kummer B., Bunke, J.: MR des Schultergelenkes mit Oberflächenspulen bei 1,5T. Fortschr Röntgenstr; 146 (1987): 294-9
- 6 Bigliani, LU.: The morphology of the acromion and its relationship to rotator cuff tear. Orthop Trans; 10 (1986): 228ff.
- 7 Bigliani, LU: Double contrast CT arthrography in the evaluation and treatment of shoulder instability. Surg Orthop; 1 (1987): 37-45
- 8 Bongartz, G., Requardt, H., Laub, G., Peters, PE.: Vereinfachte Technik bei der hochauflösenden MR-Tomographie der Schulter: ZEPRA. Fortschr Röntgenstr; 4 (1989): 421-4
- 9 Broca, A.: Contribution à l'étude des luxations de l'épaule. Bulletin de la Société. Anatomique de Paris, 416ff.
- 10 Burk, D.: Rotator cuff tears: prospective comparison of MRI with arthroscopy, sonography and surgery. Am J Roentgenol; 153 (1989): 87-92
- 11 Callaghan, JJ., McNiesh, LM., DeHaven, JP., Savory, CG., Polly, DW. Jr.: A prospective comparison study of double contrast CT arthrography and arthroscopy of the shoulder. Am J Sports Med 16 (1988): 13-20
- 12 Cartland, JP., Crues, JV., Stauffer, A., Nottage, W., Ryu, RK.: MRI in the evaluation of SLAP-lesions. Am J Roentgenol; 159 (1992): 787-92

- 13 Cervilla, V., Schweitzer, ME., Ho, C., Motta, A., Kerr, R., Resnick, D.: Medial dislocation of the biceps brachii tendon: appearance at MR imaging. *Radiology*; 180 (1991): 523-6
- 14 Chan, TW., Dalinka, MK., Kneeland, JB., Chervrot, A.: Biceps tendon dislocation: evaluation with MR imaging. *Radiology*; 179 (1991): 649-52
- 15 Chandnani, V., Ho, C., Gerharter, J., Neumann, C., Kursunoglu-Brahme, S., Sartoris, DJ., Resnick, D.: MR findings in asymptomatic shoulders, blind analysis using symptomatic shoulders as controls. *Clin Imaging*; 16 (1992): 25-30
- 16 Chandnani, VP., Yeager, TD., DeBerardino, T., Chirstensen, K., Gagliardi, JA., Heitz, DR., Baird, DE., Hansen, MF.: Glenoid labral tears: prospective evaluation with MR imaging, MR arthrography and CT arthrography. *Am J Roentgenol*; 161 (1993): 1229-35
- 17 Codman, EA.: The shoulder, rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa. Boston: ThomasTodd, 1934
- 18 Cotton, RE.: Tears of the humeral rotator cuff. *J Bone Joint Surg*; 46 (1964): 314-28
- 19 Coumas, JM., Waite, RJ., Goss, TP., Ferrari, DA., Kanzaria, PK., Pappas, AM.: CT and MR evaluation of the labral capsular ligament complex of the shoulder. *Am J Roentgenol*; 158 (1992): 591-7
- 20 Crass, JR., van de Vegte, GL., Harkavy, LA.: Tendon echogenicity: ex vivo study. *Radiology*; 167 (1988): 499-501
- 21 Cyprien, JM.: Die rezidivierende vordere Schulterluxation. *Orthopäde*; 7: (1978) 136-44
- 22 Davis, SJ., Teresi, LM., Bradley, WG., Ressler, JA., Eto, RT.: Effect of arm rotation on MRI of the rotator cuff. *Radiology*; 181 (1991): 265-8
- 23 DePalma, AF.: Surgery of the shoulder, 3d ed. Philadelphia: Lippincott; 1983: 51-63, 211-41
- 24 Deutsch, AL., Resnick, D., Mink, JH., Berman, JL., Cone, RO., Resnik, CS., Danzig, L., Guerra, J.: Computed and conventional arthrography of the glenohumeral joint. *Radiology*; 153 (1984): 603-9

- 25 Dihlmann, W., Bandick, J.: CT der Schulterweichteile. Fortschr Röntgenstr; 2 (1987): 147-51
- 26 Erickson, SJ., Cox, IH., Hyde, JS., Carrera, GF., Strandt, JA., Estkowski, LD.: Effect of tendon orientation on MRI signal intensity 'magic angle' phenomenon. Radiology; 181 (1991): 389-92
- 27 Erickson, SJ., Fitzgerald, SW., Quinn, SF., Carrera, GF., Black, KP., Lawson, TL.: Long bicipital tendon of the shoulder: normal anatomy and pathologic findings on MRI. Am J Roentgenol; 158 (1992): 1091-6
- 28 Evancho, AM., Stiles, RG., Fajman, WA., Flower, SP., Macha, T., Brunner, MC., Fleming, L.: MR imaging diagnosis of rotator cuff tears. Am J Roentgenol; 151 (1988): 751-4
- 29 Farin, P., Danner, T., Jaroma, H.: Sonographie der Rotatorenmanschettenruptur. Fortschr Röntgenstr; 6 (1990): 711-5
- 30 Farley, TE., Neumann, CH., Steinbach, LS., Jahnke, AJ., Petersen, SS.: Full thickness tears of the rotator cuff of the shoulder. Am J Roentgenol; 158 (1992): 347-51
- 31 Fishedick, O.: Die Kontrastdarstellung der Schultergelenke. In: Diethelm, L. (Hrsg) Handbuch der medizinischen Radiologie Bd.5 / Teil2. Springer, Berlin, Heidelberg, NewYork; 295ff.
- 32 Flannigan, B., Kursunoglu-Brahme, S., Snyder, S., Karzel, R., Del-Pizzo, W., Resnick, D.: MR Arthrography of the shoulder: Comparison with conventional MR imaging. Am J Roentgenol; 155 (1990): 829-32
- 33 Fritz, RC., Stoller, DW.: Fat-suppression MR arthrography of the shoulder. Radiology; 185 (1992): 614-5
- 34 Garneau, RA., Renfrew, DL., Moore, TE., El-Khoury, GY., Nepola, JV., Lemke, JH.: Glenoid labrum: evaluation with MR imaging. Radiology; 179 (1991): 519-22
- 35 Gerber, C., Ganz, R.: Diagnostik und kausale Therapie der Schulterinstabilitäten. Unfallchirurg; 89 (1986): 418-28
- 36 Gross, ML., Seeger, LL., Smith, JB., Mandelbaum, BR., Finerman, GA.: Magnetic resonance imaging of the glenoid labrum. Am J Sports Med; 3 (1990): 229-34

- 37 Häberle, HJ., Zeitler, H., Kiefer, H., Rilinger, N., Tomczak, R., Bader, C., Friedrich, JM.: Dynamisches Arthro-CT in der Diagnostik rezidivierender Schulterluxationen. *Fortschr Röntgenstr*; 5 (1994): 432-7
- 38 Habermeyer, P., Schuller, U.: Die Bedeutung des Labrum glenoidale für die Stabilität des Glenohumeralgelenkes. *Unfallchirurg*; 93 (1990): 19-26
- 39 Habibian, A., Stauffer, A., Resnick, D., Reicher, MA., Rafii, M., Kellerhouse, L., Zlatkin, MB., Newman, C., Sartoris, DJ.: Comparison of conventional and computed arthrotomography with MR imaging in the evaluation of the shoulder. *J Comp Assist Tomogr*; 6 (1989): 968-75
- 40 Hajek, PC., Sartoris, DJ., Neumann, CH., Resnick, D.: Potential contrast agents for MR arthrography. *Am J Roentgenol*; 149 (1987): 97-104
- 41 Hajek, PC., Baker, LL., Sartoris, DJ., Neumann, CH., Resnick, D.: MR arthrography: anatomic-pathologic investigation. *Radiology*; 163 (1987): 141-7
- 42 Hajek, PC., Sartoris, DJ., Gyls-Morin, V., Haghighi, P., Engel, A., Kramer, F., Neumann, CH., Resnick, D.: The effect of intraarticular Gadolinium-DTPA on synovial membrane and cartilage. *Invest Radiol*; 25 (1990): 179-83
- 43 Harcke, HT., Grissom, LE., Finkelstein, MS.: Evaluation of the musculoskeletal system with sonography. *Am J Roentgenol*; 150 (1988): 1253-61
- 44 Hedtmann, A.: Ultraschalluntersuchung des Schultergelenks bei der Periarthropathia humeroscapularis. In: Stuhler, T (Hrsg): *Ultraschalldiagnostik des Bewegungsapparates*. Springer 1987; 147-160
- 45 Henry, JH., Genung, JA.: Natural history of glenohumeral dislocation. *Am J Sports Med*; 10 (1982): 135-7
- 46 Heron, C.: MRI in joint disease. *Br J Hosp Med*; 3 (1994): 97-101
- 47 Heuck, A., Appel, M., Kaiser, E., Lehner, K., Luttke, G.: MRT der Schulter (Überinterpretation von Normalbefunden). *Fortschr Röntgenstr*; 5 (1990): 587-94
- 48 Hill, HA.: The grooved defect of the humeral head. *Radiology*; 35 (1940): 690ff.

- 49 Hippocrates. The genuine works of hippocrates, vol. 2, Translated by Francis Adams, London: Sydenham society, 1849; 553-654
- 50 Hodler, J., Fretz, CJ., Terrier, F., Gerber, C.: Rotator cuff tears: correlation of sonographic and surgical findings. *Radiology*; 169 (1988): 791-4
- 51 Hodler, J., Terrier, B., von Schulthess, GK., Fuchs, WA.: MRI and sonography of the shoulder. *Clin Radiol*; 43 (1991): 323-7
- 52 Hodler, J., Kursunoglu-Brahme, S., Snyder, SJ., Cervilla, V., Karzel, PP., Schweitzer, ME., Flannigan, BD., Resnick, D.: Rotator cuff disease: assessment with MR arthrography versus standard MR imaging in 36 patients with arthroscopic confirmation. *Radiology*; 2 (1992): 431-6
- 53 Hodler, J., Kursunoglu-Brahme, S., Flannigan, B., Snyder, SJ., Karzel, RP., Resnick, D.: Injuries of the superior portion of the glenoid labrum. *Am J Roentgenol*; 159 (1992): 565-8
- 54 Holt, RG., Helms, CA., Steinbach, L., Neumann, C., Munk, PL., Genant, HK.: MRI of the shoulder. *Skeletal Radiol*; 19 (1990): 5-14
- 55 Huber, DJ., Sauter, R., Mueller, E., Requardt, H., Weber, H.: MR imaging of the normal shoulder. *Radiology*; 158 (1986): 405-8
- 56 Hunter, JC., Blatz, DJ., Escobedo, EM.: SLAP-lesions of the glenoid labrum, CT arthrographic and arthroscopic correlation. *Radiology*; 184 (1992): 513-8
- 57 Iannotti, JP., Zlatkin, MB., Esterhai, JL., Kressel, HY., Dalinka, MK., Spindler, KP.: Magnetic resonance imaging of the shoulder. Sensitivity, specificity and predictive value. *J Bone Joint Surg (Am)*; 73 (1991): 17-29
- 58 Imhoff, A., Hodler, J.: Arthroskopie und MRT an der Schulter - eine vergleichende retrospektive Analyse. *Z Orthop*; 130 (1992): 188-96
- 59 Imhoff, AB., Hodler, J., Perrenoud, A.: Möglichkeiten der Schulterarthroskopie im Vergleich zur Magnetresonanztomographie und und Arthro-Computertomographie. *Z Unfallchir Vers Med*; 86 (1993): 4-17

- 60 Jerosch, J., Castro, WH., Assheuer, J.: Kernspintomographische Diagnostik von Veränderungen des Labrum glenoidale bei Patienten mit instabilen Schultergelenken. Sportverletz Sportschad; 6 (1992): 106-12
- 61 Jerosch, J., Drescher, H., Steinbeck, J., Lewejohann, B.: Aktuelle Konzepte bei der Behandlung der instabilen Schulter. Unfallchirurg; 97 (1994): 64-8
- 62 Jim, YF., Chang, CY., Wu, JJ., Chang, T.: Shoulder impingement syndrome: impingement view and arthrography study based on 100 cases. Skeletal Radiol; 21 (1992): 449-51
- 63 Jobe, FW.: Impingement problems in the athlete. Instr Course Lect; 38 (1989): 205-9
- 64 Kaplan, PA., Bryans, KC., Davick, JP., Otte, M., Stinson, WW., Dussault, RG.: MR imaging of the normal shoulder: variants and pitfalls. Radiology; 184 (1992):519-24
- 65 Karzel, RP., Snyder, SJ.: Magnetic resonance arthrography of the shoulder, a new technique of shoulder imaging. Clin Sports Med; 12 (1993): 123-36
- 66 Katthagen, BD.: Schultersonographie, Thieme Verlag, Stuttgart; 1988
- 67 Kessel, L., Watson, M.: The painful arc syndrome. J Bone Joint Surg (Br); 59 (1977): 166-72
- 68 Kieft, GJ., Bloem, JL., Obermann, WR., Verbout, AJ., Rozing, PM., Doornbos, J.: Normal shoulder: MR imaging. Radiology; 159 (1986): 741-5
- 69 Kieft, GJ., Sartoris, DJ., Bloem, JL., Hajek, PC., Baker, LL., Resnick, D., Obermann, WR., Rozing, P., Doornbos, J.: Magnetic resonance imaging of glenohumeral joint diseases. Skeletal Radiol; 16 (1987): 285-90
- 70 Kieft, GJ., Bloem, JL., Rozing, PM., Obermann, WR.: Rotator cuff impingement syndrome: MR imaging. Radiology; 166 (1988): 211-4
- 71 Kieft, GJ., Bloem, JL., Rozing, PM., Obermann, WR.: MR imaging of recurrent anterior dislocation of the shoulder: comparison with CT arthrography. Am J Roentgenol; 150 (1988): 1083-7

- 72 Kjellin, I., Ho, CP., Cervilla, V., Haghighi, P., Kerr, R., Vangness, CT., Friedman, RJ., Trudell, D., Resnick, D.: Alterations in the supraspinatus tendon at MR imaging: correlation with histopathologic findings in cadavers. *Radiology*; 181 (1991): 837-41
- 73 Kneeland, JB., Middleton, WD., Carrera, GF., Zeuge, RC., Jesmanowicz, A., Froncisz, W., Hyde, JS.: MR imaging of the shoulder: diagnosis of rotator cuff tear. *Am J Roentgenol*; 149 (1987): 333-7
- 74 König, H., Klose, U., Sell, S., Klier, R., Kuper, K.: Kernspintomographie des Schultergelenkes: klinische Erfahrungen mit der Sättigungspulstechnik. *Fortschr Röntgenstr*; 150 (1989): 205-10
- 75 Kramer, J., Stiglbauer, R., Engel, A., Prayer, L., Imhof, H.: MR contrast arthrography (MRA) in osteochondrosis dissecans. *J Comput Assist Tomogr*; 16 (1992): 254-60
- 76 Kramer, J., Recht, MP., Imhof, H., Stiglbauer, R.: Postcontrast MR arthrography in assessment of cartilage lesions. *J Comput Assist Tomogr*; 18 (1994): 218-24
- 77 Kreitner, KF., Thelen, M., Schild, H., Heintz, A., Storkel, S.: Die Schulterluxation, eine klinisch-radiologische Spätuntersuchung. *Fortschr Röntgenstr*; 147 (1987): 407-13
- 78 Kreitner, KF., Lehmann, M., Zapf, S., Wenda, K., Schild, HH.: Möglichkeiten der CT-Arthrographie in der Diagnostik von Schulterinstabilitäten. *Fortschr Röntgenstr*; 153 (1990): 510-5
- 79 Kreitner, KF., Lehmann, M., Mildenerger, P., Kirschner, P., Schild, HH.: CT-Arthrographie der Schulter nach operativer Versorgung ventraler Instabilitäten. *Fortschr Röntgenstr*; 155 (1991): 299-304
- 80 Kreitner, KF., Runkel, M., Grebe, P., Just, M., Schweden, F., Oberbillig, C., Schwickert, H., Kirschner, P., Schild, HH.: MR Tomographie versus CT-Arthrographie bei glenohumeralen Instabilitäten. *Fortschr Röntgenstr*; 157 (1992): 37-42
- 81 Kreitner, KF., Grebe, P., Runkel, M., Oberbillig, C., Just, M.: Stellenwert der MR-Tomographie bei akuten Schulterluxationen. *Fortschr Röntgenstr*; 157 (1992): 229-34
- 82 Kreitner, KF., Schweden, F., Mildenerger, P., Schwickert, H., Schild, HH.: CT-Arthrographie des Schultergelenkes. *Akt Radiol*; 3 (1993): 105-11

- 83 Kreitner, KF., Grebe, P., Kersjes, W., Runkel, M., Kirschner, P., Schild, HH.: Einsatzmöglichkeiten der MR-Arthrographie bei Erkrankungen des Schultergelenkes. *Fortschr Röntgenstr*; 160 (1994): 137-42
- 84 Legan, JM., Burkhard, TK., Goff, WB., Balsara, ZN., Martinez, AJ., Burks, DD., Kallman, DA., O'Brien, TJ., Lapoint, JM.: Tears of the glenoid labrum: MR imaging of 88 arthroscopically confirmed cases. *Radiology*; 179 (1991): 241-6
- 85 Lehmann, M., Kreitner, KF., Kirschner, P., Schild, H.: Möglichkeiten der Computerarthrotomographie in der Diagnostik von Schulterinstabilitäten. *Unfallchirurg*; 93 (1990): 228-31
- 86 Lindblom, K.: On the pathogenesis of ruptures of the tendon aponeurosis of the shoulder joint. *Acta Radiologica*; 20 (1939): 563-7
- 87 Liou, JT., Wilson, AJ., Totty, WG., Brown, JJ.: The normal shoulder: common variations that simulate pathologic conditions at MR imaging. *Radiology*; 186 (1993): 435-41
- 88 Lissner, J.: *Klinische Kernspintomographie*, 2. Auflage. Lissner, J., Seiderer, M. (Hrsg) Enke Verlag Stuttgart 1990
- 89 Malgaigne, JF.: *Traite des fractures et des luxations. Atlas de XXX Planches* Balliere, Paris 1855
- 90 Mc Cauley, TR., Pope, CF., Jokl, P.: Normal and abnormal glenoid labrum: assessment with multiplanar gradient-echo MR imaging. *Radiology*; 183 (1992): 35-7
- 91 Mc Niesh, LM., Callaghan, JJ.: CT arthrography of the shoulder: variations of the glenoid labrum. *Am J Roentgenol*; 149 (1987): 963-6
- 92 Meyer, AW.: Chronic functional lesion of the shoulder. *Archive of surgery*; 35 (1937): 646-74
- 93 Meyer, SJ., Dalinka, MK.: Magnetic resonance imaging of the shoulder. *Orthop Clin North Am*; 21(1990): 497-513
- 94 Middleton, WD., Edelstein, G., Reinus, WR., Melson, GL., Murphy, WA.: Ultrasonography of the rotator cuff: technique and normal anatomy. *J ultrasound Med*; 3 (1984): 549-51

- 95 Middleton, WD., Edelstein, G., Reinus, WR., Melson, GL., Totty, WG., Murphy, WA.: Sonographic detection of rotator cuff tears. *Am J Roentgenol*; 144 (1985): 349-53
- 96 Middleton, WD., Reinus, WR., Totty, WG., Melson, CL., Murphy, WA.: Ultrasonographic evaluation of the rotator cuff and biceps tendon. *J Bone Joint Surg (Am)*; 68 (1986): 440-50
- 97 Middleton, WD., Kneeland, JB., Carrera, GF., Cates, JD., Kellman, GM., Campagna, NG., Jesmanowicz, A., Francis, W., Hyde, JS.: High-resolution MR imaging of the normal rotator cuff. *Am J Roentgenol*; 148 (1987): 559-64
- 98 Miller, CL., Karasick, D., Kurtz, AB., Fenlin, JM.: Limited sensitivity of ultrasound for the detection of rotator cuff tears. *Skeletal Radiol*; 18 (1989): 179-83
- 99 Mink, JH., Richardson, A., Grant, TT.: Evaluation of the glenoid labrum by double-contrast shoulder arthrography. *Am J Roentgenol*; 133 (1979): 883-7
- 100 Mirowitz, SA.: Normal rotator cuff: MR imaging with conventional and fat-suppression techniques. *Radiology*; 180 (1991): 735-40
- 101 Mitchell, MJ., Causey, G., Berthoty, DP., Sartoris, DJ., Resnick, D.: Peribursal fat plane of the shoulder: anatomic study and clinical experience. *Radiology*; 168 (1988): 699-704
- 102 Moseley, HG., Overgaard, B.: The anterior capsular mechanism in recurrent anterior dislocation of the shoulder. *J Bone Joint Surg (Br)*; 44 (1962): 913-27
- 103 Moseley, HG., Goldie, I.: The arterial pattern of the rotator cuff of the shoulder. *J Bone Joint Surg (Br)*; 48 (1963): 780-9
- 104 Munk, PL., Holt, RG., Helms, CA., Genant, HK.: Glenoid labrum: preliminary work with use of radial-sequence MR imaging. *Radiology*; 173 (1989): 751-3
- 105 Neer, CS.: Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome of the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg (Am)*; 54 (1972): 41-50
- 106 Neer, CS., Welsh, RP.: The shoulder in sports. *Orthop Clin North Am*; 8 (1977): 583-91
- 107 Neer, CS., Foster, CR.: Inferior capsular shift for involuntary inferior and multidirectional instability of the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg (Am)*; 62 (1980): 897-908

- 108 Neer, CS.: Impingement lesions. Clin Orthop; 173 (1983): 70-7
- 109 Neumann, CH., Petersen, SA., Jahnke, AH.: MR imaging of the labral-capsular complex: normal variations. Am J Roentgenol; 157 (1991): 1015-21
- 110 Neumann, CH., Petersen, SA., Jahnke, AH., Steinbach, LS., Morgan, FW., Helms, C., Genant, HK., Farley, TE.: MRI in the evaluation of patients with suspected instability of the shoulder joint including a comparison with CT-arthrography. Fortschr Röntgenstr; 154 (1991): 593-600
- 111 Neumann, CH., Holt, RG., Steinbach, LS., Jahnke, AH., Petersen, SA.: MR imaging of the shoulder: appearance of the supraspinatus tendon in asymptomatic volunteers. Am J Roentgenol; 158 (1992): 1281-7
- 112 Neviaser, RJ.: Ruptures of the rotator cuff. Orthop Clin North Am; 18 (1987): 387-94
- 113 Norwood, LA., Barrack, R., Jacobson, KE.: Clinical presentation of complete tears of the rotator cuff. J Bone Joint Surg (Am); 71 (1989): 499-505
- 114 Obrist, J., Genelin, F., Kropfl, A.: Diagnostischer Stellenwert des Doppelkontrast-CT bei der Schulterluxation. Z Orthop; 121 (1991): 31-35
- 115 Owen, RS., Iannotti, JP., Kneeland, JB., Dalinka, MK., Deren, JA., Oleaga, L.: Shoulder after surgery: MR imaging with surgical validation. Radiology; 186 (1993): 443-7
- 116 Ozaki, J., Fujimoto, S., Nakagawa, Y., Masuhara, K.: Tears of the rotator cuff of the shoulder associated with pathologic changes in the acromion. A study in cadavera. J Bone Joint Surg (Am); 70 (1988): 1224-30
- 117 Pal, GP., Bhatt, RH., Patel, VS.: Relationship between the tendon of the long head of biceps brachii and the glenoid labrum in humans. Anat Rec; 229 (1991): 278-80
- 118 Palmer, WE., Brown, JH., Rosenthal, DI.: Rotator cuff: evaluation with fat-suppressed MR arthrography. Radiology; 188 (1993): 683-7
- 119 Palmer, WE., Brown, JH., Rosenthal, DI.: Labral-ligamentous complex of the shoulder: evaluation with MR arthrography. Radiology; 190 (1994): 645-51

- 120 Pennes, DR., Jonsson, K., Buckwalter, K., Braunstein, E., Blasier, R., Wojtys, E.:
Computed arthrotomography of the shoulder: comparison of examinations made with
internal and external rotation of the humerus. *Am J Roentgenol*; 153 (1989): 1017-9
- 121 Peterson, CJ.: The significance of distally pointing acromioclavicular osteophytes. *Clin
Orthop*; 174 (1983): 143-8
- 123 Protzman, RR.: Anterior instability of the shoulder. *J Bone Joint Surg (Am)*; 62 (1980):
909-18
- 124 Rafii, M., Firooznia, H., Golimbu, C., Minkoff, J., Bonamo, J.: CT arthrography of
capsular structures of the shoulder. *Am J Roentgenol*; 146 (1986): 361-7
- 125 Rafii, M., Firooznia, H., Bonamo, J., Minkoff, J., Golimbu, C.: Athlete shoulder injuries:
CT arthrographic findings. *Radiology*; 162 (1987): 559-64
- 126 Rafii, M., Firooznia, H., Sherman, O., Minkoff, J., Weinreb, J., Golimbu, C., Gidumal,
R., Schinella, R., Zaslav, K.: Rotator cuff lesions: signal patterns at MR imaging.
Radiology; 177 (1990): 817-823
- 127 Rathbun, JB., Macnab, I.: The microvascular pattern for the rotator cuff. *J Bone Joint
Surg (Br)*; 52 (1970): 540-53
- 128 Reeder, JD., Andelman, S.: The rotator cuff tear: MR evaluation. *Magn Reson Imaging*; 5
(1987): 331-8
- 129 Resch, H., Benedetto, KP., Zur-Nedden, D.: Computertomographische Diagnostik bei
habitueeller Schulterluxation. *Unfallchirurg*; 88 (1985): 204-7
- 130 Resch, H., Helweg, G., Zur-Nedden, D., Beck, E.: Double-contrast computed
tomographic examination techniques in habitual and recurrent shoulder dislocation. *Eur J
Radiol*; 8 (1988): 6-12
- 131 Resch, H., Golser, K., Thoni, H.: Schulterluxation und -subluxation. *Orthopade*; 18
(1989): 247-55
- 132 Rizk, TE., Pinals, RS.: Frozen shoulder. *Semin Arthritis Rheum*; 11 (1982): 440-52
- 133 Rockwood, CA.: Subluxations and dislocations about the shoulder. Fractures in adults.
Lippincott, Philadelphia; 722, 2. Auflage

- 134 Rothman, RH., Parke, WW.: The vascular anatomy of the rotary cuff. Clin Orthop; 41 (1965): 176-86
- 135 Rothman, RH., Marvel, JP., Heppenstall, RB.: Anatomic consideration in glenohumeral joint. Orthop Clin North Am; 6 (1975): 341-52
- 136 Rowe, CR.: Prognosis in dislocations of the shoulder. J Bone Joint Surg (Am); 38 (1956): 957-77
- 137 Rowe, CR., Patel, D., Southmayd, WW.: The Bankart procedure: a long-term end-result study. J Bone Joint Surg (Am); 60 (1978): 1-16
- 138 Rowe, CR.: Acute and recurrent anterior dislocations of the shoulder. Orthop Clin North Am; 11 (1980): 253-70
- 139 Rowe, CR., Zarins, B.: Recurrent transient subluxation of the shoulder. J Bone Joint Surg (Am); 63 (1981): 863-72
- 140 Rowe, CR.: Anterior glenohumeral subluxation / dislocations. Current therapy. In: sportsmedicine - 2. Toronto, Philadelphia: BC Decker, Inc., 1990; 399-404
- 141 Runkel, M., Kreitner, KF., Wenda, K., Rudig, L., Degreif, J., Grebe, P.: Kernspintomographie bei Schulterluxationen. Unfallchirurg; 96 (1993): 124-28
- 142 Sasaki, M., Ehara, S., Nakasato, R., Tamakawa, Y., Kuboya, Y., Sugisawa, M., Sato, R.: MR of the shoulder with a 0.2-T permanent-magnet unit. Am J Roentgenol; 154 (1990): 777-8
- 143 Schlepckow, P.: Erfahrungen in der Diagnostik der Rotatorenmanschettenruptur. In: Henche, HR. (Hrsg) Sonographie in der Orthopädie und der Sportmedizin. MLV, Uelzen
- 144 Seeger, LL., Ruszkowski, JT., Bassett, LW., Kay, SP., Kahmann, RD., Ellman, H.: MR imaging of the normal shoulder: anatomic correlation. Am J Roentgenol; 148 (1987): 83-91
- 145 Seeger, LL., Gold, RH., Bassett, LW., Ellman, H.: Shoulder impingement syndrome: MR findings in 53 shoulder. Am J Roentgenol; 150 (1988): 343-7

- 146 Seeger, LL., Gold, RH., Bassett, LW.: Shoulder instability: evaluation with MR imaging. *Radiology*; 168 (1988): 695-7
- 147 Seeger, LL.: MRI of the musculoskeletal system. *Orthopedics*; 15 (1992): 437-42
- 148 Sell, S., König, H., Gutsche, I., Kusswetter, W.: Die Kernspintomographie und Sonographie in der Diagnostik von Läsionen der Rotatorenmanschette. *Sportverletz Sportschad*; 6 (1992): 20-23
- 149 Seltzer, SE., Finberg, HJ., Weissman, BN., Kido, DK., Collier, BD.: Arthrosonography: gray-scale ultrasound evaluation of the shoulder. *Radiology*; 132 (1979): 467-8
- 150 Shuman, WP., Kilcoyne, RF., Matsen, FA., Rogers, JV., Mack, LA.: Double-contrast computed tomography of the glenoid labrum. *Am J Roentgenol*; 141 (1983): 581-4
- 151 Simon, WH.: Soft tissue disorders of the shoulder. Frozen shoulder, calcific tendinitis. *Orthop Clin North Am*; 6 (1975): 521-39
- 152 Singson, RD., Feldman, F., Bigliani, L.: CT arthrographic patterns in recurrent glenohumeral instability. *Am J Roentgenol*; 149 (1987): 749-753
- 153 Singson, RD., Feldman, F., Bigliani, LU., Rosenberg, ZS.: Recurrent shoulder dislocation after surgical repair: double-contrast CT arthrography. *Radiology*; 164 (1987): 425-8
- 154 Skyhar, MJ., Altchek, DW., Warren, RF., Wickiewicz, TL., O'Brien, SJ.: Shoulder arthroscopy with the patient in beach-chair position. *Arthroscopy*; 4 (1988): 256-79
- 155 Smith, DL., Campbell, SM.: Painful shoulder syndromes: diagnosis and management. *J Gen Intern Med*; 7 (1992): 328-39
- 156 Snyder, SJ., Karzel, RP., Del-Pizzo, W., Ferkel, RD., Friedman, MJ.: SLAP lesions of the shoulder. *Arthroscopy*; 6 (1990): 274-9
- 157 Swiontowski, MF.: Operative assessment of rotator cuff vascularity using laser doppler flowmetry. *Surgery of the shoulder*. Mosby yearbook, 1990; 208-12
- 158 Tirman, RM., Nelson, CL., Tirman, WS.: Arthrography of the shoulder joint: state of the art. *Crit Rev Diagn Imaging*; 17 (1981): 19-76

- 159 Tirman, PF., Bost, FW., Steinbach, LS., Mall, JC., Peterfy, CG., Sampson, TG., Sheehan, WE., Forbes, JR., Genant, HK.: MR arthrographic depiction of tears of the rotator cuff: benefit of abduction and external rotation of the arm. *Radiology*; 192 (1994): 851-6
- 160 Tosch, U., Stelling, E., Sander, B., Bernard, M., Hertel, P.: Kernspintomographische Diagnostik von Binnenläsionen der Schulter nach Luxation. Vergleich mit arthroskopischen Befunden. *Radiologe*; 32 (1992): 347-51
- 161 Townley, CD.: The capsular mechanism in recurrent dislocation of the shoulder. *J Bone Joint Surg (Am)*; 32 (1950): 370-80
- 162 Traugher, PD., Goodwin, TE.: Shoulder MRI: arthroscopic correlation with emphasis on partial tears. *J Comput Assist Tomogr*; 16 (1992): 129-33
- 163 Tsai, JC., Zlatikin, MB.: Magnetic resonance imaging of the shoulder. *Radiol Clin North Am*; 28 (1990): 279-91
- 164 Turkel, SJ., Panio, MW., Marshall, JL., Girgis, FG.: Stabilizing mechanism preventing anterior dislocation of the glenohumeral joint. *J Bone Joint Surg (Am)*; 63 (1981): 1208-17
- 165 Uhthoff, HK., Sarkar, K.: An algorithm for shoulder pain caused by soft tissue disorders. *Clin Orthop*; 254 (1990): 121-7
- 166 Vahlensieck, M., Resendes, M., Lang, P., Genant, H.: Shoulder MRI: the subacromial / subdeltoid bursa fat stripe in healthy and pathologic conditions. *Eur J Radiol*; 14 (1992): 223-7
- 167 Vahlensieck, M.: Shoulder MRI: routine examinations using gradient recalled and fat-saturated sequences. *Eur Radiol*; 2 (1992): 142-7
- 168 Vahlensieck, M., Resendes, M., Genant, HK.: MRI of the shoulder. *Bildgebung*; 59 (1992): 123-32
- 169 Vahlensieck, M., Pollack, M., Lang, P., Grampp, S., Genant, HK.: Two segments of the supraspinous muscle: cause of high signal intensity at MR imaging? *Radiology*; 186 (1993): 449-54

- 170 Vestring, T., Bongartz, G., Konermann, W., Erlemann, R., Reuther, G., Krings, W., Saathoff, J., Drescher, H., Peters, PE.: Stellenwert der Magnetresonanztomographie in der Diagnostik von Schultergelenkerkrankungen. *Fortschr Röntgenstr*; 154 (1991): 143-9
- 171 Warwick, R.: *Gray's anatomy*, 35th British ed., Philadelphia: Saunders, 1973; 407-71
- 172 Weissman, BN.: *Orthopedical radiology*. Philadelphia, Saunders, 1986
- 173 Wilson, AJ., Totty, WG., Murphy, WA., Hardy, DC.: Shoulder joint: arthrographic CT and long-term follow-up with surgical correlation. *Radiology*; 173 (1989): 329-33
- 174 Wilson, AJ.: Computed arthrotomography of glenohumeral instability. *Top Magn Reson Imaging*; 6 (1994): 139-46
- 175 Wirth, CJ., Kohn, D., Melzer, C., Markl, A.: Wertigkeit diagnostischer Maßnahmen bei Weichteilerkrankungen und Weichteilschäden des Schultergelenks. *Unfallchirurg*; 93 (1990): 339-45
- 176 Workman, TL., Burkhard, TK., Resnick, D., Goff, WB., Balsara, ZN., Davis, DJ., Lapoint, JM.: Hill-Sachs lesion: comparison of detection with MR imaging, radiography and arthroscopy. *Radiology*; 185 (1992): 847-52
- 177 Zilch, H.: Erkrankungen des Schultergelenkes. In: *Regionale klinische Orthopädie*. 1989
- 178 Zlatkin, MB., Bjorkengren, AG., Gyls-Morin, V., Resnick, D., Sartoris, DJ.: Cross-sectional imaging of the capsular mechanism of the glenohumeral joint. *Am J Roentgenol*; 150 (1988): 151-8
- 179 Zlatkin, MB., Iannotti, JP., Roberts, MC., Esterhai, JL., Dalinka, MK., Kressel, HY., Schwartz, JS., Lenkinski, RE.: Rotator cuff tears: diagnostic performance of MR imaging. *Radiology*; 172 (1989): 223-9
- 180 Zlatkin, MB., Dalinka, MK., Kressel, HY.: Magnetic resonance imaging of the shoulder. *Magn Reson Q*; 5 (1989): 3-22
- 181 Zlatkin, MB.: *MRI of the shoulder*, Raven Press New York, 1991
- 182 Zlatkin, MB., Falchok, FS.: Magnetic resonance pathology of the rotator cuff. *Top Magn Reson Imaging*; 6 (1994): 94-120

Lebenslauf:

Name: Schwab
Vorname: Jörg Otto
Geburtsdatum: 10.09.1967
Geburtsort: Heilbronn / Neckar

09 / 1974 bis 06 / 1978: Grundschule in Möckmühl (Jagst)
08 / 1978 bis 05 / 1987: Gymnasium Möckmühl
27.05.1987: Abitur
06 / 1987 bis 01 / 1989: Zivildienst im Krankenhaus Möckmühl
03 / 1989 bis 06 / 1989: Software – Entwickler in München
07 / 1989 bis 09 / 1989: Pflegeaushilfe am Krankenhaus Möckmühl
10 / 1989 bis 10 / 1995: Studium der Humanmedizin in Gießen
04 / 1992 bis 07 / 1995: Leiter eines Biochemie Tutoriums für Medizin
Studenten (2 stündige Vorlesung)
01 / 1996 bis 06 / 1997: AiP in der Abtlg. für Kardiologie der Uni Gießen
seit 07 / 1997: wiss. Angestellter der Abtlg. für Kardiologie

Juni 1994: Auszeichnung für den experimentellen Teil der
Dissertation auf dem Deutschen Röntgenkongreß

Gießen, im Januar 2000

Danksagung:

Widmen möchte ich diese Arbeit meinem lieben Großvater, welcher leider im Dezember 1998 verstorben ist.

Mein besonderer Dank gilt Dr. Thomas Bauer und Dr. G. Bachmann für die Bereitstellung des Themas und für die kontinuierliche Betreuung. Weiterhin möchte ich mich ebenso bei Fr. Dr. I. Jürgensen aus der Klinik für Orthopädie von Prof. Stürz für die sehr gute Zusammenarbeit bedanken.

Zum Schluß geht der Dank noch an meine Eltern, die mir ständig die Präsenz der Arbeit vor Augen führten, und an Barbara, die mich vor allem zum Ende hin mental unterstützte.